

MONOGRAF

Pembersihan Lahan Tercemar Tumpahan Hidrokarbon Dengan Teknik Biopile



Munawar Ali

Monograf

Pembersihan Lahan Tercemar Tumpahan Hidrokarbon
Dengan Teknik Biopile

Penyusun

Munawar Ali

Staf Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan

FTSP - UPN "Veteran" Jawa Timur

Editor

Muhammad Mirwan.

Penerbit

Upn veteran jatim

Cetakan

I. Surabaya , 2009

Perpustakaan Nasional Indonesia
Munawar Ali
Monograf Pembersihan Lahan Tercemar/
Munawar Ali - Cet.1-
Surabaya, UPN "Veteran" Jawa Timur,
2009.
v + 73 halaman;
ISBN : 978-602-9372-56-4

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran ALLAH Subhanahu Wata'ala atas nikmat dan karunia yang telah banyak diberikan, dan sholawat serta salam untuk junjungan Nabi akhir zaman Muhammad Rasulillahi Sollallahu Alaihi Wasallam. Beliau telah memberikan arahan dan petunjuk pada jalan yang benar dan Beliau juga sebagai sentral inspirasi berfikir dan berbuat dalam mengisi disemua lini kehidupan. Atas hal tersebut, sehingga penulisan buku monograf ini dapat dirampungkan berjudul “ Pembersihan Lahan Tercemar Tumpahan Hidrokarbon Dengan Teknik Biopile “

Buku monograf ini merupakan hasil studi di laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim. Penyusunan buku monograf ini dapat terselesaikan atas bantuan dan dukungan teman dosen dan tenaga laboratorium serta mahasiswa yang terlibat secara aktif.

Akhirnya, terlepas dari kekurangan yang ada penulis berharap mudah-mudahan buku monograf ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan selanjutnya.

Surabaya, Juni 2009

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Daftar Gambar	iv
Daftar Tabel	v
I. PENDAHULUAN	1
II. TEKNIK BIOREMEDIASI	4
2.1. Komposting	5
2.2. Komposisi dan Lingkungan Tanah	8
2.3. Pembagian Mikroorganisme Tanah	12
2.4. Sumber Pencemar Hidrokarbon	21
2.5. Bioremediasi dengan Sistem Biopile	22
2.6. Biopile	24
2.7. Keuntungan Proses Biopile	29
2.8. Konstanta Penyisihan Minyak Bumi	29
2.9. Minyak Tanah	30
III IMPLEMENTASI	32
3.1. Tahap Pendahuluan (Aklimatisasi)	32
3.2. Preparasi	32
3.3. Perlakuan Utama	33
3.3.1 Instrumen yang digunakan	33
3.3.2. Sistem Operasional	34
3.4. Penetapan Operasional	34
IV. ANALISA PROSES BIOPOLE	36
4.1. Pengaruh Penambahan Kompos	36
4.1.1 Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 8 %	36
4.1.2 Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 10%	40

4.1.3	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 12%.	45
4.1.4.	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 14%.	49
4.1.5.	Evaluasi Pengaruh Penambahan Kompos Pada Proses Degradasi TPH	53
4.2.	Parameter – Parameter yang Dikontrol	56
4.2.1	Suhu Reaktor	56
4.2.2	Nilai pH	57
4.2.3	Prosen (%) Kelembaban	58
4.2.4	Nutrisi	58
4.3.	Penentuan Konstanta Penyisihan Konsentrasi Hidrokarbon Minyak Bumi.....	59
4.4.	Mikroorganisme yang Teridentifikasi	67
4.5.	Uji Korelasi Determinasi Pengaruh Kelembaban, pH, dan Suhu Terhadap Penurunan Konsentrasi TP	71
4.6.	Evaluasi Penambahan Kompos, Mikroorganisme Serta Kondisi Lingkungan	72
V.	PENUTUP	74
	DAFTAR PUSTAKA	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kurva Pertumbuhan Bakteri Secara Batch	16
Gambar 2.	Skema Proses Bioremediasi Secara Biopile	25
Gambar 3.	Konstanta Penyisihan Hidrokarbon Minyak Bumi (k) ...	30
Gambar 4.	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 8%	59
Gambar 5.	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 10%.	63
Gambar 6.	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 12%.	46
Gambar 7.	Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 14%	50
Gambar 8.	Hubungan Penambahan Kompos (%) Terhadap Prosen (%) Penyisihan TPH pada Penambahan Mikroorganisme	55
Gambar 9.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor Blanko	61
Gambar 10.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 1	62
Gambar 11.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 2	63
Gambar 12.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 3	64
Gambar 13.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 4	65
Gambar 14.	Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 5	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Komposisi Kompos	6
Tabel 2	Karakteristik Tumpukan pada Beberapa Operasi Biopile	26
Tabel 3.	Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 8 % dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %	37
Tabel 4.	Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 8%	39
Tabel 5.	Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 10 % dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %	41
Tabel 6.	Prosen (%) Penyisihan Dengan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 10%	44
Tabel 7.	Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 12% dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %	45
Tabel 8.	Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 12%	48
Tabel 9.	Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 14% dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %	49
Tabel 10.	Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 14%	52
Tabel 11.	Penambahan Kompos (%) Terhadap Prosen (%) Penyisihan TPH pada Penambahan Mikroorganisme	54

Tabel 12.	Laju Penyisihan Konsentrasi TPH pada Reaktor blanko, reaktor 1, reaktor 6, reaktor 11, reaktor 15 dan reaktor 16	60
Tabel 13.	Nilai Konstanta Penyisihan TPH	66
Table 14.	Tabel Identifikasi Bakteri	68
Tabel 15.	Prosen (%) Determinasi (R^2) pH, Suhu, dan Kelembaban Terhadap Penurunan Konsentrasi TPH	71

I. PENDAHULUAN

Dalam proses pendistribusian bahan bakar tersebut sering terjadi tumpahan atau ceceran minyak pada unit penyalur bahan bakar, kecelakaan kendaraan pengangkut minyak maupun pada tangki sekitar tangki penimbun bahan bakar. Pencemaran tumpahan minyak dapat ikut dalam saluran pengairan , saluran pembuangan pada proses pencucian tangki penimbun bahan bakar, serta dapat pula tercecer di tanah.

Perekonomian di Indonesia kian berkembang, sehingga semakin meningkat pula kebutuhan masyarakat akan bahan bakar minyak (BBM) dari tahun ke tahun. Bahan bakar minyak (BBM) dan Non BBM sangat diperlukan dalam kehidupan sehari – hari baik untuk rumah tangga, Transportasi dan Industri. Oleh karena itu BBM dan Non BBM termasuk dalam komoditi vital dan strategis.

Pencemaran lingkungan tanah belakangan ini mendapat perhatian yang cukup besar, karena globalisasi perdagangan menerapkan peraturan ekolabel yang ketat. Sumber pencemar tanah umumnya adalah logam berat dan senyawa aromatik beracun yang dihasilkan melalui kegiatan pertambangan dan industri. Pencemaran pada tanah dapat menyebabkan ikut tercemarnya air tanah, menurunnya kadar nutrisi yang terkandung di tanah sehingga semakin menurun pula jumlah mikroorganisme tanah. (Yulaikah, 2007)

WALHI, 2007. menyebutkan kasus pencemaran tanah akibat hidrokarbon misalnya PT. UNILEVER Jakarta seluas 2.2 Ha , di PT. CALTEX seluas 8 Ha, kebocoran pipa minyak mentah di PT. CONNOCO PHILLIPS sepanjang 300 meter dan masih banyak kasus pencemaran lainnya.

Upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran dan pemulihan kondisi tanah yang terjadi dapat menggunakan beberapa cara, antara lain fisika , kimia dan biologi.

Pada saat ini proses pemulihan kondisi tanah yang paling diminati yaitu dengan cara biologi karena proses yang diterapkan lebih aman serta hasil akhirnya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan cara fisika dan kimia. Adapun cara biologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah teknik bioremediasi. (Eweis, J. B. et all., 1998)

Bioremediasi adalah Proses pengolahan limbah dan pencemaran lingkungan atau upaya pemulihan biologis dengan menggunakan bakteri atau mikroorganisme (organisme hidup). (Eweis, J. B. et all., 1998)

Prinsip yang digunakan adalah pemanfaatan mikroorganisme untuk mendegradasi hidrokarbon yang terkandung dalam minyak tanah (*kerosin*) yang sudah mencemari tanah. Dari hal ini, maka akan digunakan sistem biologi untuk mendegradasi hidrokarbon. Permasalahan yang mengemuka adalah mulai banyak pencemaran tanah akibat ceceran minyak yang dapat mencemari air tanah. Sulit terurainya senyawa hidrokarbon secara alami. Dengan pendekatan ini maka dapat mengidentifikasi jenis mikroorganisme tanah yang dapat

mendegradasi senyawa hidrokarbon. Dengan demikian dapat diperoleh beberapa manfaat yang dapat dicapai antara lain , dapat mengurangi pencemaran tanah dengan menghasilkan hasil samping yang tidak berbahaya (ramah lingkungan). Dan kondisi tanah dapat dipulihkan sehingga dapat digunakan sebagai tanah penutup atau ditanami tumbuhan.

II. TEKNIK BIOREMEDIASI

Teknik bioremediasi pada umumnya dipakai untuk mengolah lingkungan yang terkena pencemaran, antara lain tanah yang tercemar pestisida, tumpahan minyak di laut, serta tanah yang tercemar minyak bumi atau produk – produk minyak bumi. Pada umumnya bioremediasi dilakukan dengan memakai mikroorganisme dan penambahan nutrisi yang dibutuhkan. Proses bioremediasi yang akan dipakai pada penelitian ini digunakan untuk mengolah tanah yang tercemar minyak tanah. Ada beberapa teknik yang dapat dipakai dalam proses bioremediasi, antara lain :

1. Bioremediasi In – situ

Yaitu proses bioremediasi dimana pencemar, media yang tercemar serta pengolahannya dilakukan pada tempat aslinya (tidak berpindah tempat).

2. Bioremediasi Ex – situ

Yaitu proses bioremediasi yang dilaksanakan dengan cara mengolah media yang tercemar diluar lokasi pencemaran (berpindah tempat)

a. Land farming

Yaitu bioremediasi yang dilakukan pada lahan pertanian yang menggunakan alat – alat pertanian untuk prosesnya.

b. Composting

Yaitu bioremediasi yang dikondisikan, seteri proses pengomposan yang ditambahkan bahan penggembur.

Proses *Composting* memiliki 3 tipe, antara lain :

a) Sistem windrow

Merupakan salah satu tipe dari composting dengan cara material yang akan diuraikan (dikomposkan) ditumpuk pada satu piringan (platform) dan berupa gundukan tanah.

b) Statik Pile (Biopile)

Yaitu material yang akan didegradasi dipersiapkan pada suatu tempat, kemudian diberi udara dengan sistem perpipaan yang dihubungkan dengan blower atau kompresor.

c) Reaktor Tertutup

Yaitu suatu proses pengomposan yang dilakukan dalam kondisi ruang tertutup.

2.1. Komposting

Salah satu sumber nutrisi yang dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah adalah kompos, pemilihan kompos didasarkan pada kemudahan untuk memperolehnya. Selain murah, kompos juga dapat dibuat sendiri, salah satunya dengan memanfaatkan sampah organik domestik yang dihasilkan dari aktivitas sehari – hari. (Sulistiyowati, A. 2003)

Pemakaian nutrisi anorganik dengan konsentrasi tinggi misalnya urea yang berlebihan, dapat mengganggu salinitas dan tekanan osmotik (Eweis et al., 1998)

Kompos adalah sejenis pupuk organik dimana kandungan unsur N, P, dan K- nya tidak terlalu tinggi. Hal inilah yang membedakan kompos dengan pupuk buatan sehingga tidak dapat

dijadikan sumber utama unsur – unsur tersebut bagi tanaman.
(Anonim , 1992 dalam Rini, S. P., 2007)

Kompos juga dapat diartikan sebagai suatu produk yang terdiri dari sebagian besar sampah buangan organik yang secara keseluruhan atau sebagian telah mengalami kondisi pengeringan dalam suhu yang tinggi. Komposisi kompos biasanya terdiri atas :

Tabel 1. Komposisi Kompos

Komposisi	%
Kelembapan	35
Bahan Organik	18
Nitrogen (N)	0.6
Asam fosfat (P_2O_5)	0.5
Kalium (K_2O)	0.2
Kalsium (CaO)	1.5
Magnesium (MgO)	0.3

Sumber : Rinsema, 1986 dalam Subekti, F. W., 2005

Fungsi utama dari kompos adalah membantu memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan porositas (rongga dalam tanah), sehingga tanah menjadi lebih gembur dan meningkatkan kinerja tanah dengan peningkatan kemampuan dalam bertukar kation serta dalam menyimpan air. Selain itu kompos juga berfungsi sebagai pemasok makanan untuk mikroorganisme dalam tanah. Penggunaan kompos dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, kapang, actinomicetes, dan protozoa, sehingga dapat meningkatkan dan mempercepat dekomposisi bahan organik. (Sarief, 1986 dalam Subekti, F. W., 2005)

Salah satu proses biokimia bahan organik dalam proses pengomposan adalah mineralisasi yang dilakukan oleh berbagai macam mikroorganisme yang disebut organisme perombak yang aktif melakukan perombakan bahan organik menjadi anorganik. Proses mineralisasi N dikaitkan dengan kecepatan persediaan N. Kandungan N atau rasio C/N umumnya dinyatakan sebagai faktor kimia penting yang menentukan dekomposisi dan mineralisasi N bahan organik. Tingkat rasio C/N optimum mempunyai rentang antara 20 – 25 (1.4 – 1.7% N) ideal untuk dekomposisi maksimum karena tidak akan terjadi pembebasan nitrogen mineral dari sisa – sisa organik diatas jumlah yang dibutuhkan untuk sintesis mikroba. (Subekti, F. W., 2005)

Komposting merupakan suatu proses aerob biologis dimana padatan organik yang dioksidasi secara biologis menjadi senyawa stabil seperti humus. Konsentrasi organik tinggi dan tingkat kelembapan dari kompos dapat menghasilkan panas yang mengawali proses biodegradasi. Suhu dalam pengoperasian komposting jarang berada dibawah suhu 55°C. Suhu yang tinggi digunakan untuk membunuh organisme patogen , selain itu juga digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan untuk mendegradasi komponen yang berbahaya. (Eweis et all, 1998)

Pengaplikasian komposting masih tergolong baru dalam pengolahan limbah berbahaya (U.S. EPA, 1998 dalam Eweis et all, 1998). Didalam bahan berbahaya juga terdapat material yang dapat mendukung pengoperasian kompos.

2.2. Komposisi Dan Lingkungan Tanah

Kata tanah (*soil*) berasal dari bahasa perancis kuno yang merupakan turunan dari bahasa latin yaitu *solum*, yang berarti lantai atau dasar. Pada umumnya, tanah berarti bagian permukaan terpisah dari bumi dan bulan sebagaimana dibedakan dari batuan yang padat. (Adisoemarto,1994)

Pengertian tanah pada setiap orang berbeda, contohnya petani mempunyai konsep – konsep tanah yang lebih praktis, dengan menganggap tanah sebagai medium tempat tanaman budidaya tumbuh. Sebaliknya, insinyur sipil memandang tanah sebagai bahan yang mendukung bangunan dan jalan. Pendeknya, kata tanah mempunyai banyak arti dan akan digunakan dalam berbagai cara. (Adisoemarto, 1994)

Tanah adalah materi yang heterogen yang tersusun atas bahan organik, inorganik, gas, dan zat cair. (Paul dan Clark,1989 dalam Yulaikah, 2007)

Didalam tanah terdapat berbagai jasad renik (mikroorganisme) yang melakukan berbagai kegiatan yang menguntungkan bagi kehidupan makhluk – makhluk hidup lainnya atau dengan perkataan lain menjadikan tanah memungkinkan bagi kelanjutan siklus kehidupan makhluk – makhluk alami.

Tanah yang normal telah kita ketahui tersusun dari unsure – unsur padat, cair dan gas, yang secara luas dapat dibagi dalam 5 kelompok, yaitu:

1. Partikel – partikel mineral, yang dapat berubah – ubah ukuran dan tingkatan hancuran mekanis dan kimiawinya, dan partikel

- partikel ini meliputi kelompok – kelompok batu kerikil, pasir halus, lempung dan lumpur
- 2. Sisa –sisa tanaman dan binatang, terdiri dari daun – daun segar yang jatuh, tunggul, jerami dan bagian – bagian tanaman yang tersisi serta berbagai bangkai binatang dan serangga, yang kesemuanya membusuk dan hancur menyatu dengan partikel – partikel diatas. Sisa – sisa tanaman dapat juga berwujud humus atau bahan – bahan humus.
- 3. Sistem – sistem kehidupan, termasuk berbagai kehidupan tanaman lebih tinggi, sejumlah besar bentuk makhluk / binatang yang hidup dalam tanah seperti berbagai macam serangga, protozoa, cacing tanah dan binatang mengerat, demikian pula berbagai algae, fungi, aktinomisetes dan bakteri.
- 4. Air, yang merupakan bentuk – bentuk cairan terdiri dari air bebas dan air higroskopik, berkandungan berbagai konsentrasi larutan garam – garam anorganik dan campuran – campuran atau senyawa – senyawa organik tertentu.
- 5. Berbagai gas, atmosfer tanah terdiri dari karbondioksida, oksigen, nitrogen, dan sejumlah gas lainnya dalam konsentrasi – konsentrasi yang lebih terbatas.

Unsur – unsur diatas menjadikan tanah yang subur, yang mampu menjamin berlangsungnya kehidupan berbagai makhluk di bumi. Unsur – unsur tersebut kadang – kadang ada yang lenyap dikarenakan pengolahan tanah yang salah, pembakaran hutan atau

perbuatan – perbuatan lainnya dari manusia sebagai makhluk tertinggi di bumi. (Sutedjo, dkk ., 1992)

Muchamad, 1997, menyebutkan bahwa struktur tanah tersusun atas agregat tanah yang terdiri dari material organik, air, udara, dan mikroorganisme. Tanah yang memungkinkan untuk dapat diolah adalah tanah yang mengandung material organik dan struktur agregat yang dapat berkembang. Material organik dalam tanah membawa masing – masing partikel tanah menjadi agregat, sehingga porositas tanah naik memungkinkan air lolos dengan mudah.

Tanah yang baik mempunyai kemampuan untuk menghisap (menyerap), sedangkan yang jelek atau yang tidak mengandung material organik cenderung mengeras. (Yulaikah, 2007)

Dari segi Struktur tanah, intensitas dan lingkup pencemaran juga dipengaruhi oleh karakteristik tanah (Cookson, 1995) terdiri atas:

1. Soil Porosity

Merupakan tingkat porositas tanah yang mempengaruhi tingkat penyebaran pencemar. Misalnya porositas tanah yang tinggi akan mempermudah penyebaran pencemar.

2. Moisture Content

Merupakan kelembapan tanah yang mempengaruhi aktivitas mikroba dan dapat menghambat pergerakan oksigen jika kelembapan tinggi.

3. Hydrolic Conductivity

Merupakan karakteristik tanah yang berpengaruh terhadap letak pencemar dan mempermudah pergerakan pencemar.

4. Air Conductivity

Yaitu mempengaruhi penguapan pencemar.

5. Soil Sorbtion Capacity

Merupakan kemampuan atau daya serap tanah terhadap pencemar. Jika daya serap tanah tinggi maka pergerakan pencemar akan terhambat.

6. Kandungan bahan kimia

Merupakan interaksi senyawa kimia dalam tanah seperti kandungan organik di zona tanah atas akan menahan laju migrasi pencemar.

7. Kandungan mikrobiologis

Merupakan kandungan humus tanah dan beberapa mikroba lain dalam tanah yang berpengaruh terhadap aktivitas mikroba pendegradasi.

Pencemar minyak yang tumpah di atas permukaan tanah akan masuk kedalam tanah dan ada juga yang meninggalkan tanah. Pencemar minyak yang terlepas dan terserap (*adsorpsi*) ke dalam tanah akan mengalami perubahan fisik, kimia, maupun biologisnya. Hal ini disebabkan pencemar ada yang berupa gas, terlarut dalam air (*water solubility*), dan ada juga yang bergabung dengan partikel tanah. Distribusi pencemar ditentukan oleh kelarutan dan porositas tanah. (Eweis et al ., 1998)

2.3. Pembagian Mikroorganisme Tanah

Kegiatan penelitian terdahulu telah membawa keuntungan – keuntungan bagi penelitian lanjutan. Kemudahan – kemudahan tersebut antara lain dengan berhasilnya dikelompokkan mikroorganisme dalam beberapa golongan. (Sutedjo dkk ., 1992)

Winogradsky dalam Sutedjo dkk ., 1992, telah membagi populasi mikrobiologis tanah dalam 2 golongan, yaitu :

1. *Autochthonous*

Golongan ini dapat dikatakan sebagai mikroba – mikroba setempat atau pribumi pada tanah tertentu, selalu hidup dan berkembang di tanah itu dan atau selalu diperkirakan ditemukan di dalam tanah tersebut.

2. *Mikroba Zimogenik*

Golongan mikroba yang berkembang di bawah pengaruh perlakuan – perlakuan khusus pada tanah, seperti penambahan bahan – bahan organik, pemupukan atau serasi.

Terhadap kedua golongan ini, golongan lainnya dapat ditambahkan, yaitu golongan :

3. *Mikroba Transient (Penetap Sementara)*

Golongan ini terdiri dari organisme – organisme yang diintroduksi kedalam tanah secara disengaja, seperti dengan inokulasi leguminosa, atau yang tidak secara disengaja, seperti dalam kasus unsur – unsur penghasil penyakit tanaman dan hewan, organisme – organisme ini kemungkinan

segera mati atau kemungkinan pula bertahan untuk sementara waktu setelah berada di dalam tanah.

Bagi kepentingan identifikasi mikroorganisme yang berbeda – beda dikenal beberapa risalah. Untuk menggolongkan berbagai bakteri tanah dikenal beberapa sistem, antara lain sistem Bergey yaitu sistem yang banyak digunakan, relatif universal. (Sutedjo dkk ., 1992)

Bergey dalam Sutedjo dkk ., 1992, menggolongkan bakteri tanah menjadi 5, antara lain :

1. Golongan Eubacteriales
2. Golongan Actinomycetales
3. Golongan Chlamydobacteriales
4. Golongan Myxo bacteriales
5. Golongan Spirochaetales

Suatu sistem penggolongan bakteri lainnya yang didasarkan atas kegiatan – kegiatan fisiologisnya, juga seringkali dilaksanakan atau diterapkan dalam studi – studi tanah. Sistem ini menggolongkan bakteri sebagai berikut :

1. Bakteri Autotropik

Bakteri Autotropik dicirikan oleh sifat – sifat fisiologis tertentu yang sangat membedakan dengan dari semua bakteri lainnya. Sifat – sifat khas dari bakteri ini adalah sebagai berikut :

- a. Pertumbuhan dan perkembangannya dalam tanah menyukai sekali media mineral yang elektif, yang

bermuatan zat – zat anorganik yang secara khusus mampu mengoksidasi.

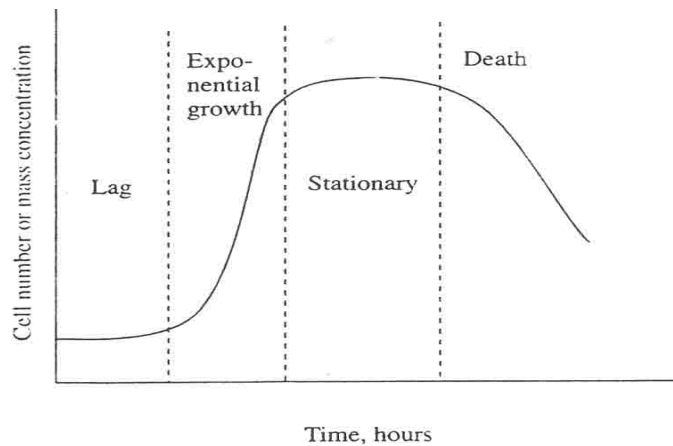
- b. Eksistensi bakteri – bakteri jenis ini dihubungkan dengan tersedianya unsur – unsur anorganik atau senyawa – senyawa sederhana, yang melangsungkan oksidasi sebagai suatu hasil dari kegiatan hidup organisme.
- c. Oksidasi zat / bahan – bahan anorganik demikian menunjang energi sebagai sumber satu – satunya bagi perkembangan organisme ini.
- d. Bakteri jenis ini tidak memerlukan sesuatu nutrisi, bagi sintesa sel atau sebagai sumber energi.
- e. Bakteri ini hampir dapat dikatakan tidak berkemampuan membusukkan zat organik dan mengenai hal ini dapat diperiksa dalam pengembangannya pada bahan campuran atau senyawa tertentu.
- f. Bakteri ini menggunakan karbon dioksida sebagai suatu sumber karbon yang eksklusif yang diasimilasi secara chemosintesis.

2. Bakteri Heterotropik

Bakteri Heterotropik meliputi mayoritas besar organisme dalam tanah, pertumbuhannya tergantung dari bahan – bahan organik sebagai sumber energinya dan terutama berhubungan dengan dekomposisi sellulosa dan hemisellulosa, zat – zat tepung, dan bahan nitrogen lainnya serta lemak sebagai bahan makanannya.

Bakteri ini berbeda dalam susunan dan fisiologisnya, berlimpahnya dan kepentingannya. Sementara ada yang aerobik dan sementara lainnya ada yang anaerobik, ada yang pembentuk spora dan ada juga yang bukan pembentuk spora, ada yang gram positif dan ada juga yang gram negatif, serta sementara ada yang mampu memfiksasi nitrogen atmosferik dan sementara lainnya ada yang bergantung atas fiksasi bentuk – bentuk nitrogen organik dan anorganik. (Sutedjo dkk ., 1992)

Pertumbuhan makhluk hidup secara sederhana dapat didefinisikan sebagai pertambahan jumlah makhluk hidup tersebut dalam satuan waktu, begitu juga dengan pertumbuhan mikroorganisme. Sebagian besar bakteri berkembang biak dengan cara membelah diri, dari induk yang sama dapat terbentuk dua sel yang baru. Pertumbuhan bakteri tidak berlangsung terus menerus, dikarenakan adanya keterbatasan substrat, nutrien, dan volume reaktor. Secara umum pertumbuhan bakteri dapat digambarkan dalam grafik berikut :



Gambar 1. Kurva Pertumbuhan Bakteri Secara Batch

1. Fase lag

Pada fase awal ini, bakteri memerlukan waktu untuk aklimatisasi terhadap kondisi lingkungan dan selanjutnya dapat berkembang biak dengan membelah diri.

2. Fase pertumbuhan eksponensial

Bakteri mulai mengalami pertumbuhan dengan pembelahan yang ditentukan oleh umur untuk mencapai pembelahan serta kemampuan untuk memproses makanan.

3. Fase stasioner

Jumlah bakteri pada fase ini relatif tetap, disebabkan keterbatasan substrat, nutrisi serta mulai adanya kematian pada bakteri.

4. Fase kematian

Fase kematian ini jumlah bakteri yang mati lebih banyak dari pada jumlah bakteri yang tumbuh.

Komposisi dan densitas komunitas mikroba dan laju transformasi dari polutan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, substrat, dan mikroorganisme. Faktor lingkungan meliputi kelembapan, aerasi, suhu, PH, serta ketersediaan nutrisi.

Faktor mikroorganisme termasuk adanya mikroorganisme dengan pathway untuk mendegradasi kontaminan, pengkondisian dari populasi mikroba dan faktor ekologi. Sifat dari substrat mempengaruhi biotransformasi termasuk tingkat toksisitas, konsentrasi, kelarutan, volatilitas, dan pemecahan fase padat dan struktur kimia.

Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada proses bioremediasi, antara lain :

1. Nutrisi

Nutrisi alami dalam tanah harus tersedia dalam jumlah yang sesuai sehingga dapat mendukung pertumbuhan mikroorganisme pendegradasi. Karbon adalah satu elemen dasar dari semua material hidup. Selain itu komposisi sel yang lain adalah hidrogen, nitrogen, dan oksigen. Ketiga elemen tersebut sekitar 95 % dari berat sel hidup. Sedangkan elemen fosfor dan kalsium sekitar 70% dari sisanya. Mikroorganisme harus mendapatkan semua nutrisi penting untuk mendukung pertumbuhannya dari lingkungan tanah.

Apabila konsentrasi nutrisi tidak tercukupi maka perlu ditambahkan pupuk, hal ini dilakukan untuk menambah nutrisi tanah sehingga dapat mempertinggi laju metabolisme mikroorganisme terhadap substrat. Penambahan pupuk inorganik

sering menguntungkan bagi bioremediasi fase padat. Penambahan tersebut umumnya dengan perbandingan karbon : nitrogen : fosfor = 100 : 10 : 1. (Cookson, 1995)

Rosenberg et al ., (1992) dalam Masyruroh, Y., (2004), menyebutkan bahwa dibutuhkan \pm 150 mg nitrogen dan 30 mg fosfor untuk mengubah 1 gr hidrokarbon menjadi bahan – bahan sel. Nutrien fosfor yang pada umumnya ditambahkan sebagai garam fosfat, yang dengan mudah membentuk suatu mineral kompleks dengan tanah, membentuk produk yang tidak larut dan kemudian mengendap.

Penggunaan fosfor dalam bentuk tripolifosfat tidak disukai karena dapat menghasilkan endapan yang tidak diinginkan dan dapat mengganggu struktur tanah (Bossert Compeau, 1995. dalam Yulaikah, L ., 2007)

Kebutuhan nutrien untuk bakteri agar dapat melakukan metabolisme yang baik adalah sebesar 50 mg/kg tanah, pada penambahan pupuk nitrogen bentuk yang sering digunakan adalah urea, amonia, dan nitrat. (Mc Millen., 1998)

Karbon biasanya disuplai oleh organik karbon pada kontaminan, tapi ada juga yang disuplai oleh inorganik karbon dalam bentuk karbonat dan bikarbonat. Hidrogen dan oksigen disuplai oleh air. Nitrogen, fosfor, dan belerang diberikan sebagai sumber organik dan inorganik. Keberhasilan bioremediasi tergantung dari tersedianya karbon, nitrogen, dan fosfor. Nitrogen dan fosfor secara alami dapat ditemukan di tanah dan air tanah.

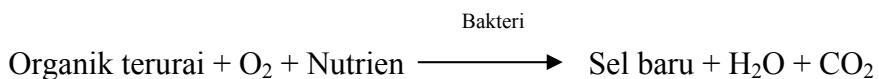
Untuk tanah yang terkontaminasi memiliki konsentrasi nitrogen dan fosfor yang rendah. (Cookson, 1995)

2. Oksigen

Proses bioremediasi aerobik, oksigen berperan sebagai elektron aseptor yang dapat menampung kelebihan elektron dari reaktan lainnya. Oksigen dalam tanah diperoleh dari proses difusi antara udara dengan tanah. Oksigen mudah habis terutama bila jumlah mikroorganisme pendegradasi sangat banyak sedangkan proses terjadinya difusi sangat lama.

Berkurangnya suplai oksigen menyebabkan gagalnya bioremediasi, namun kebutuhan oksigen dapat disuplai dengan cara pengadukan atau pembalikan tanah serta pemberian udara (aerasi) secara berkala. (Cookson, 1995)

Untuk penguraian secara aerobik, kebutuhan oksigen optimal adalah lebih besar dari 0.2 mg/lit DO dengan porositas minimal 10%. Sedangkan untuk reaksi anaerob kebutuhan oksigen kurang dari 0.2 mg/lit. Secara umum penguraian mikrobiologis aerobik melalui reaksi berikut :



3. Kelembapan tanah

Kelembapan tanah sangat berpengaruh terhadap bagaimana kondisi tanah tersebut serta berpengaruh terhadap aktivitas makhluk hidup yang ada di dalam tanah tersebut. Kelembapan

tanah biasanya berkaitan dengan suplai air yang tersedia dalam tanah.

Sebagian besar bakteri aerob mampu beroperasi secara optimal pada kelembapan 50 sampai 75 % dari kapasitas tanah. (Eweis et all .,1998)

Kelembapan tanah yang optimal untuk proses bioremediasi adalah sekitar 60%. (English ., 1991 dalam Cookson ., 1995)

4. PH tanah

Cookson , 1995. menyebutkan bahwa sebagian besar mikroorganisme dapat tumbuh dengan baik pada kondisi pH netral sampai pH alkali. Namun pada umumnya mikroorganisme dapat tumbuh secara optimum pada kondisi Ph 6 – 9, meskipun ada pula mikroorganisme yang tumbuh dengan optimum diatas range ph tersebut dan kurang dari ph 5. (Eweis et all., 1998)

5. Faktor substrat

Faktor substrat juga termasuk salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, kondisi tanah yang terlalu sedikit substrat dapat menyebabkan berkurangnya jumlah mikroorganisme yang hidup. Sedangkan kondisi tanah yang terlalu berlebihan substrat dapat menyebabkan kejenuhan mikroorganisme untuk mengkonsumsi substrat sehingga menyebabkan berkurangnya kemampuan mendegradasi pencemar. (Masyruroh, Y., 2004)

Faktor substrat meliputi konsentrasi dan struktur kimia pencemar, struktur dan susunan komponen organik juga

berpengaruh terhadap terdianya mikroorganisme dan kemampuan mendegradasi. Ada beberapa substrat yang tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme , antara lain polimer sintetis, komponen aromatik, pestisida, dan klorinasi.

Mikroorganisme mendegradasi bahan – bahan kimia melalui aktivitas kemoheterotropik, diman mikroorganisme memerlukan beberapa komponen organik yang terdapat dalam pencemar sebagai sumber energi. (Yulaikah, L ., 2007)

6. Suhu tanah

Suhu optimum untuk proses biodegradasi adalah 10 – 40°C. (Cookson .,1995). Sedangkan menurut Eweis, 1998 menyebutkan bahwa proses biodegradasi berkurang pada suhu diatas 40°C dan aktivitas mikroba akan terhenti pada suhu 0°C, atau dengan menurunnya suhu dapat berakibat menurunnya metabolisme mikroba.

2.4. Sumber Pencemar Hidrokarbon

Pencemaran tanah dapat disebabkan terlepasnya berbagai bahan kimia yang diproduksi atau digunakan dalam aktivitas manusia kepermukaan tanah. Minyak memiliki kandungan yang syarat dengan bahan kimia, sehingga jika tumpah di permukaan tanah akan mencemari tanah tersebut. Pencemaran tanah oleh minyak bumi dapat disebabkan oleh beberapa aktivitas (Yulaikah, 2007) yaitu :

1. Kebocoran pipa transmisi minyak
2. Kebocoran tanki di bawah tanah
3. Kebocoran tanki di bawah tanah

4. Ceceran minyak di pangkalan minyak tanah
5. Ceceran minyak pada rel – rel kereta api
6. Kecelakaan kendaraan pengangkut minyak
7. Tumpahan minyak di industri pengilangan minyak
8. Buangan bengkel kendaraan bermotor
9. Semburan minyak liar
10. Pembersihan tanki penyimpanan minyak

2.5. Bioremediasi dengan Sistem Biopile

Dalam proses bioremediasi, suatu keberhasilan dicapai apabila mikroorganisme mampu mendegradasi pencemar dengan baik. Mikroorganisme dengan konsentrasi tertentu dapat tumbuh dan mampu mendegradasi hidrokarbon dengan baik apabila dikondisikan untuk tumbuh secara optimal. Kondisi tumbuh optimal mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

1. pH tanah

Pertumbuhan mikroorganisme umumnya paling bagus pada range pH 6 – 9, Untuk mendegradasi lahan tercemar hidrokarbon minyak bumi dapat berlangsung cepat pada pH diatas 7 jika dibandingkan dengan degradasi yang sama pada pH 5. (Brodcorp, 1992 dalam Cookson, 1995)

2. Suhu tanah

Suhu optimal untuk proses biodegradasi yaitu 10 – 40 °C. (Cookson, 1995). Proses biodegradasi berkurang pada suhu diatas 40°C dan aktivitas mikroba akan berhenti pada suhu 0°C. (Eweis et al., 1998)

3. Kelembaban tanah

Kebanyakan bakteri aerobik mampu beroperasi secara optimal pada kelembaban 50 – 75 %. (US – EPA., 1985 dalam Eweis et al., 1998). Sedangkan menurut English (1991) dalam Cookson (1995) menyebutkan bahwa kelembaban optimal untuk biodegradasi adalah sekitar 60%.

4. Faktor Substrat

Faktor substrat meliputi konsentrasi dan struktur kimia pencemar. Jika konsentrasi pencemar terlalu tinggi maka bersifat toksik, namun jika konsentrasi pencemar rendah maka mikroorganisme akan kekurangan energi. Struktur dan susunan kimia pencemar merupakan susunan rantai bahan kimia. Hidrokarbon dengan rantai pendek, lurus, jenuh, bercabang akan lebih mudah didegradasi dibandingkan hidrokarbon dengan rantai panjang, tertutup, melingkar dan cincin.

5. Oksigen

Bioremediasi berlangsung secara aerob, maka oksigen berperan sebagai elektron aseptor, yang akan menampung kelebihan elektron dari reaktan lainnya. Oksigen dalam tanah diperoleh dari proses difusi antara udara dan tanah.

6. Nutrisi

Nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam proses bioremediasi yaitu berupa nutrisi alami dalam tanah dan nutrisi tambahan. Nutrisi alami berupa elemen – elemen kimia dalam tanah, sumber karbon yang diperoleh dari bahan organik pencemar, hidrogen, dan oksigen yang disuplai oleh air. Sedangkan nutrisi

tambahan berupa sumber karbon, nitrogen, fosfor, dan kalium dengan perbandingan C : N : P = 100 : 10 : 1.

2.6. Biopile

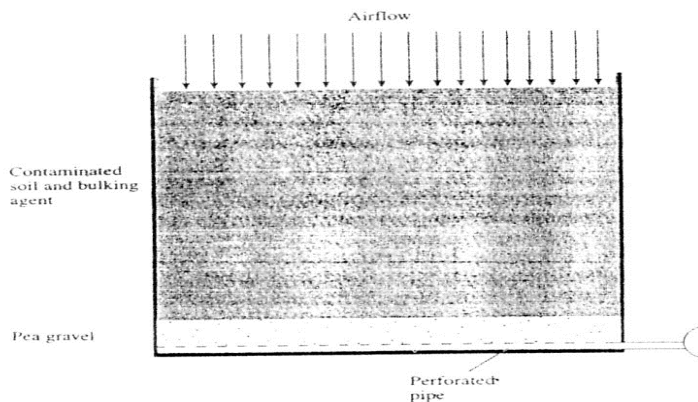
Biopile merupakan salah satu teknik bioremediasi secara pengomposan. Prinsip dasar pada proses pengomposan bahan kimia berbahaya adalah sama dengan pengomposan bahan non berbahaya. Dalam tumpukan kompos umumnya ditambahkan bahan penggembur untuk meningkatkan porositas , memberikan permeabilitas udara yang lebih baik.

Teknik bioremediasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah biopile. Biopile ialah suatu sistem dimana material yang akan didegradasi dipersiapkan pada suatu tempat, diberi sistem perpipaan yang dihubungkan dengan blower atau kompresor. Aerasi pada sistem biopile dicapai melalui cara positif atau negatif (hisap). Untuk aerasi yang dipakai pada umumnya dipakai yaitu vacuum (hisap) karena mampu meminimasi emisi dari komponen yang mudah menguap (volatile). Aerasi secara negatif tidak bisa dilakukan pada kondisi dingin karena udara yang dingin akan masuk kedalam tumpukan tanah sehingga menyebabkan penurunan suhu. Sedangkan aerasi secara positif akan menghasilkan panas pada tumpukan tanah, hal ini karena blower membuang panas dari kompresor.

Aliran udara dalam biopile digunakan untuk mengontrol suhu dan kandungan oksigen dalam tanah. Layout dari lubang pipa dan laju aerasi digunakan sebagai parameter penting dalam merancang sistem biopile dan biasanya disesuaikan dengan kebutuhan. Pipa di

dasar biasanya di tanam pada sebuah lapisan yang mempunyai permeabilitas tinggi. Jaringan pipa pada beberapa elevasi untuk aerasi dan untuk mengantarkan nutrisi dan kelembapan (Eweis et al., 1998)

Gambar 2.5 menunjukkan skema proses bioremediasi secara biopile. Kemampuan untuk aerasi pada biopile tanpa mengganggu dimensi tumpukan yang besar. Tinggi tumpukan yang biasanya digunakan dilapangan adalah 3 meter, tetapi tumpukan setinggi 6 meter juga pernah dibuat. (Cookson, 1995). Tabel 2 menunjukkan karakteristik tumpukan pada beberapa operasi biopile.



Gambar 2. Menunjukkan Skema Proses Bioremediasi Secara Biopile (Sumber : Eweis et al., 1998)

Tabel 2. Karakteristik Tumpukan pada Beberapa Operasi Biopile

Dimensi tumpukan (m)			Tutup (layer)	Cara aerasi	Keterangan	Referensi
Lebar	Tinggi	Panjang				
30	2	50	HDPE liner	Positif	Tumpukan diinokulasi dengan jamur putih.	Holroy dan Caunt, 1995
16,5	2,4	16,5	9 mil HDPE	Negatif	Ditutupi dengan bantuan frame PVC	Peterson et al., 1995
9,1	3,0	24,4	3 layer dari 6 mil plastik	Negatif	Pipa ditanam pada 1,2 dan 2,1m. Diletakkan pipa PVC untuk menyediakan aliran udara pasif, memberi pipa ekstraksi uap yang berikutnya.	Seller et al., 1993
5,5	1,6	9,1	Serbuk gergaji	Negatif	Ciclus blower dikontrol oleh waktu dan sisem suhu yang umpan balik.	Williams dan Myler, 1990
12	2,5	26	0,3 layer dari Wood chips, dan 20 mil polyethylene	Negatif	75% dari gas di recycle ke dalam tumpukan	Benazon et al., 1995

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan sistem biopile, antara lain :

1. Bahan Penggembur

Penambahan dari bahan penggembur ditujukan untuk mencegah pemadatan tanah dan menambah porositas dan penyediaan oksigen. Peningkatan porositas akan diikuti peningkatan pembuangan air mengakibatkan penurunan kelembapan tanah. Untuk itulah digunakan absorben bahan penggembur untuk menjaga kelembaban, tahan terhadap pemadatan sehingga degradasi terjadi seperti yang diinginkan

Macam – macam bulking agent antara lain, jerami, rumput kering, sekam padi, serat tanamn yang lain , woodchips, dan material sintetis. (Savage et al., 1985 dalam Eweis et al., 1998)

2. Komposisi Tumpukan Tanah

Salah satu kunci kesuksesan proses komposting yaitu mengetahui komposisi campuran yang benar. Untuk mempercepat pengomposan maka diberikan suatu amandemen tentang kombinasi sumber panas dan bulking agent, selain itu amandemen ini juga digunakan sebagai sumber bibit mikroba. Dengan cara biopile untuk semua jenis amandemennya yaitucampuran, bisa dari jerami, wood chips, serbuk gergaji, dan pine bark yang diinokulasikan dengan jamur putih 5% pada berat kering (Holrold dan Caunt, 1995 dalam Eweis et al., 1998)

Stegman et al. (1991) dalam Eweis et al (1998) menyebutkan dari hasil studi laboratorium pada tanah terkontaminasi bahan bakar diesel menunjukan bahwa massa kompos yang lebih tinggi (campuran tanah dengan kompos), aktivitas mikroba meningkat dan baik untuk removal hidrokarbon. Hasil terbaik adalah dalam rasio tanah : kompos = 2 : 1 (pada berat kering).

3. Kelembaban Tanah

Penjagaan kelembapan dapat meningkatkan pertumbuhan mikroba Kelembapan diukur sebagai persentasi dari kapasitas simpanan air lebih tinggi dari pada yang tidak ditambahkan penggembur. Persamaan kelembaban tanah sekitar 60% dari kapasitas simpanan air sudah optimal untuk aktivitas mikroba pada campuran kompos dan tanah(Stegmann et al., 1991 dalam Eweis et al., 1998)

4. Nutrisi

Nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme dalam proses bioremediasi yaitu berupa nutrisi alami dalam tanah dan nutrisi tambahan. Nutrisi alami berupa elemen – elemen kimia dalam tanah, sumber karbon yang diperoleh dari organik carbon pada pencemar, hidrogen dan oksigen yang disuplai oleh air. Perbandingan C : N : K = 100 : 10 : 1.

5. Sistem Aerasi Biopile

Laju aerasi digunakan harus cocok untuk aktivitas mikroba. Ketika proses degradasi dinilai dan percepatan aktivitas mikroba yang dibutuhkan adalah oksigen dalam jumlah yang tinggi, suhu dibangun dengan cepat, dan diperlukan aliran udara yang tinggi.

Terdapat tiga cara aerasi yang mungkin dilakukan (Eweis et al., 1998), yaitu :

a Fixed Rate

Adalah laju reaksi yang ditentukan dan dikontrol yang dicapai oleh menghidupkan dan menghentikan aliran udara. Contohnya aerasi mungkin hidup selama 6 menit dan mati selama 18 menit

b Laju Variabel

Cara ini jarang digunakan, misalnya laju aerasi di mulai dari waktu yang lama dan berkurang secara bertahap.

c Aerasi secara otomatis

Program komputer digunakan secara otomatis untuk regulasi aerasi dalam respon untuk fluktuasi suhu.

2.7. Keuntungan Proses Biopile

Sebagai teknologi alternatif, biopile memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

1. Memerlukan energi yang relatif kecil
2. Dapat diaplikasikan untuk komponen organik
3. Memiliki toleransi untuk konsentrasi logam yang tinggi (U.S, EPA 1985 dalam Eweis et al., 1998)
4. Proses ini membutuhkan waktu yang lebih pendek dari teknik lain. Menurut U.S. EPA, 1990 dalam mendegradasi membutuhkan waktu yang lebih pendek dari landfill.

2.8. Konstanta Penyisihan Konsentrasi Hidrokarbon Minyak Bumi (TPH)

Nilai konstanta penyisihan minyak bumi (k) diperoleh dari rumusan rata – rata kinetika yaitu :

$$C = C_0^{-kt} \quad (1)$$

Dengan :

C = Konsentrasi substrat akhir, mg/l

C₀ = Konsentrasi Substrat awal, mg/l

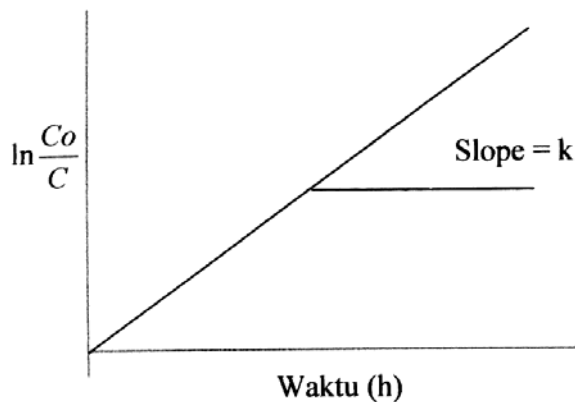
k = Konstanta penyisihan, hari⁻¹

t = Waktu

Dari persamaan 2.1 kemudian dilinierkan menjadi :

$$\ln C_0/C = k \cdot T \quad (2)$$

Hasil perhitungan dari persamaan .2 diplotkan dalam kurva sebagai berikut :



Gambar 3. Konstanta Penyisihan Hidrokarbon Minyak Bumi (k)

Nilai k digunakan untuk mengukur tingkat penyisihan hidrokarbon minyak tanah dalam bentuk Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)

2.9. Minyak Tanah

Minyak tanah adalah cairan hidrokarbon yang tidak berwarna dan mudah terbakar (flamable). Minyak ini diperoleh dengan cara distilasi fraksional dari petroleum pada 150°C dan 275°C (rantai karbon dari C_{12} sampai C_{15}). Minyak ini banyak digunakan sebagai bahan bakar lampu minyak tanah, kompor minyak dan juga digunakan sebagai bahan bakar mesin jet. Nama kerosin berasal dari bahasa Yunani yaitu keros. Trayek didih adalah $85^{\circ} - 105^{\circ}\text{C}$. (Anonim^a, 2007)

Berdasarkan dari sifat minyak tanah yang mudah terbakar, minyak ini tergolong sebagai bahan beracun dan berbahaya (B_3).

Berdasarkan PP No. 85 tahun 1999 tentang pengolahan limbah bahan beracun dan berbahaya (B₃), bahwa limbah minyak termasuk limbah B₃ sehingga harus diolah, tidak boleh dibuang ke tanah atau landfill yang tidak terlindungi.

III. IMPLEMENTASI

Pada implementasinya meliputi 2 tahap yaitu, tahap pendahuluan dan perlakuan utama.

3.1 Tahap Pendahuluan (Aklimatisasi)

Pada tahap pendahuluan ini dilakukan proses aklimatisasi mikroorganisme, yang pada akhirnya mikroorganisme tersebut akan digunakan pada proses pendahuluan. Tahapan ini dilakukan untuk mengkondisikan dan membiasakan mikroorganisme untuk menggunakan minyak tanah (*kerosene*) sebagai sumber karbon dalam pertumbuhannya. Mikroorganisme yang akan diaklimatisasi diperoleh dari sample tanah yang ditambah air dan diaerasi selama 3 hari, kemudian sample tanah dan air dipisahkan. Air yang dipisahkan tersebut diharapkan dapat mewakili mikroorganisme asli yang nantinya dapat mendegradasi minyak tanah (*kerosene*) dalam sampel. Nutrisi yang diberikan antara lain gula sebagai sumber karbon, Na_2PO_4 (Amonium Phospat) sebagai sumber natrium, dan KH_2PO_4 (Kalii Dihidrgen Phospat) sebagai sumber phospat. Ketiganya diharapkan dapat memberikan nutrisi tambahan bagi mikroorganisme.

Bahan– bahan yang diperlukan dalam tahap pendahuluan ini disiapkan adalah tanah yang tercemar minyak tanah, Air PDAM sebanyak ± 1 liter, dan Nutrient (gula, Na_2PO_4 , dan KH_2PO_4)

3.2. Preparasi

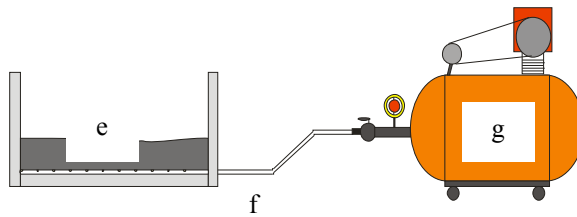
Mempersiapkan reaktor A yang telah diisi tanah tercemar minyak tanah lalu tambahkan air PDAM sebanyak ± 1 liter kedalam reaktor A. Melakukan proses aerasi selama ± 3 hari, selama proses aerasi tambahkan nutrient kedalam reaktor A. Setelah 3 hari, lakukan penyaringan untuk memisahkan air dengan sample tanah. Memasukkan air hasil saringan dari reaktor A kedalam reaktor B untuk pengembangbiakan mikroorganisme. Melakukan aerasi pada reaktor B selama ± 90 hari, selama proses aerasi tambahkan nutrien. Selain penambahan nutrient, tambahkan juga minyak tanah sebagai pengganti sumber karbon.

3.3. Perlakuan Utama

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian pendahuluan ini yaitu, Tanah tercemar minyak tanah, dengan berat 200 gram. Volume tanah (tanpa kompos) = 275.8 cm^3 . Mikroorganisme yang telah dikembangbiakan pada penelitian pendahuluan, dan kompos organik.

3.1.1 Instrumen yang Gunakan

Instrumen yang digunakan reaktor (bak) dengan dimensi yang telah dibuat dengan ukuran yang telah



Keterangan :

e = Tanah tercemar minyak tanah yang telah dicampur dengan kompos organik, serta bakteri yang diperoleh dari penelitian pendahuluan.

f = Selang suplai udara

g = Kompresor

3.1.2 Sistem Operasional

Mempersiapkan reaktor yang bagian alasnya telah dipasang selang sebagai suplai udara. Reaktor diisi dengan tanah tercemar minyak tanah, kompos organik, serta bakteri yang diperoleh dari penelitian pendahuluan. Campur semuanya agar merata. Melakukan aerasi pada reaktor selama 30 hari, selama proses aerasi semprotkan air untuk menjaga kelembaban tanah. Mengukur suhu, PH, kelembapan, serta Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada reaktor setiap 3 hari sekali selama 30 hari.

3.4. Penetapan Operasional

Kondisi operasional melalui beberapa ketentuan, antara lain : pH tanah = 6 – 9. , Kelembaban tanah = 50 % – 75 % , Rentang suhu tanah = 25° – 35° C,

Variabel yang dipakai pada tahap utama ini adalah :
Penambahan mikroorganisme = 8%, 10%, 12%, 14% terhadap
volume reaktor. Penambahan kompos = 15%, 20%, 25%, 30%
terhadap volume reaktor.

IV. ANALISA PROSES BIOPILE

4.1 Pengaruh Penambahan Kompos

Proses bioremediasi kali ini, penambahan kompos pada setiap reaktornya memegang peranan penting bagi proses pendegradasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH). Selain penambahan kompos, penambahan mikroorganisme yang bervariasi juga dapat berperan bagi persen (%) penyisihan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH). Peranan kompos pada tiap reaktornya dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 sampai tabel 4.8 serta dapat digambarkan dalam gambar 4.1 sampai gambar 4.5.

4.1.1 Pengaruh Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 8%

Penambahan kompos akan berpengaruh bagi proses pendegradasian Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) yang ada dalam sampel tanah. Selain mikroorganisme 8%, pada reaktor juga ditambahkan komposisi kompos 15%, 20%, 25%, dan 30% untuk mendukung proses bioremediasi. Untuk bisa membandingkan terjadinya penurunan konsentrasi TPH maka juga dilakukan perlakuan blangko, yaitu perlakuan yang sama dengan rencana penelitian namun tidak dilakukan penambahan mikroorganisme dan kompos.

Tabel 3. Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 8 % dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %

Waktu (hari)	Reaktor				
	1	2	3	4	blanko
0	39.20	39.20	39.20	39.20	39.20
3	38.71	38.20	37.29	37.58	39.01
6	36.45	36.24	35.72	35.25	38.75
9	34.73	34.21	33.05	34.01	38.44
12	31.06	32.13	30.11	31.11	37.12
15	27.42	28.51	26.42	26.41	37.01
18	23.52	24.28	24.31	24.04	36.58
21	21.26	22.14	22.11	22.17	36.21
24	18.57	19.24	18.37	19.81	35.47
27	16.51	17.54	15.74	16.54	35.01
30	15.98	15.63	14.58	15.51	34.79

Sumber : hasil penelitian

Keterangan :

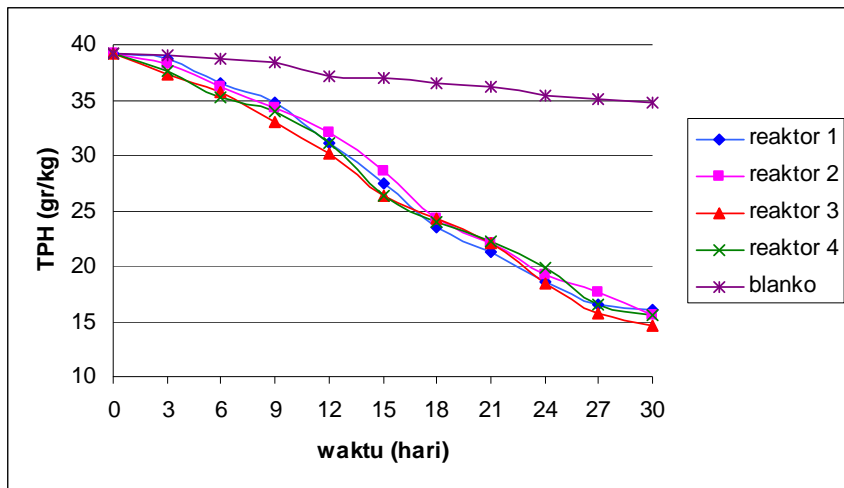
reaktor 1 = komposisi mikroorganisme 8 % dan kompos 15 %

reaktor 2 = komposisi mikroorganisme 8 % dan kompos 20 %

reaktor 3 = komposisi mikroorganisme 8 % dan kompos 25 %

reaktor 4 = komposisi mikroorganisme 8 % dan kompos 30 %

reaktor blanko = tanpa mikroorganisme & tanpa kompos.



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan mikroorganisme 8%

Konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada setiap reaktor yang ditambahkan mikroorganisme dan kompos mengalami penurunan dari nilai TPH awal. Pada tabel 3 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi kompos yang ditambahkan bersamaan dengan penambahan mikroorganisme 8%, menyebabkan penurunan konsentrasi TPH. Penurunan konsentrasi TPH yang paling besar terjadi pada reaktor 3 yang memiliki komposisi mikroorganisme 8% dan kompos 25%, dari nilai awal TPH 39.20 gr/kg turun menjadi 14.58 gr/kg. Hal ini disebabkan karena nutrisi yang ditambahkan mendukung terjadinya proses degradasi TPH. Selain itu keberadaan kompos juga meningkatkan porositas tanah, porositas tanah yang baik akan memaksimalkan suplai udara yang masuk ke dalam reaktor dan dapat memudahkan pergerakan bakteri.

Fenomena diatas juga terjadi pada reaktor blanko, dimana mulai hari ke 3 sampai hari ke 30 terjadi penurunan TPH. Tetapi penurunan TPH terjadi sangat lamban, yaitu dari nilai awal 39.20 gr/kg menjadi 34.79 gr/kg. Lambannya penurunan yang terjadi disebabkan tidak adanya penambahan mikroorganisme dan kompos pada reaktor, hal ini menunjukkan bahwa terdapat mikroorganisme asli pada tanah sampel yang bekerja keras untuk dapat mendegradasi TPH. Tanpa adanya penambahan mikroorganisme dan kompos membuat kerja mikroorganisme asli menjadi terbatas.

Ditinjau dari prosen (%) penyisihan pada masing – masing reaktor memiliki prosen (%) penyisihan yang berbeda – beda, hal ini tergantung pada besar kompos yang ditambahkan. Perbedaan persen (%) penyisihan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 8%

Reaktor	% Penyisihan
1	59.23
2	60.13
3	62.81
4	60.43
Blanko	11.25

Mulai reaktor 1 sampai reaktor 3 pada tabel 4. , persen (%) penyisihan TPH semakin meningkat. Persen penyisihan paling besar terjadi pada reaktor 3 yaitu 62.81%, reaktor 3 memiliki komposisi mikroorganisme 8% dan kompos 25%. Namun hal ini tidak terjadi

pada reaktor 4 yang memiliki komposisi mikroorganisme 8% dan kompos 30%, persen (%) penyisihannya lebih kecil dibanding dengan reaktor 3 yaitu 60.43%.

Hal ini disebabkan penambahan kompos yang berlebih pada reaktor 4, yaitu 30%. Penambahan kompos memang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme dan mendukung proses degradasi TPH, Namun penambahan kompos yang berlebih pada reaktor juga kurang baik, kompos yang berlebih dapat mengakibatkan lolosnya udara yang masuk kedalam reaktor, sehingga kemampuan bakteri untuk mendegradasi TPH menjadi turun.

Prosen (%) penyisihan pada reaktor blanko hanya 11.250%, kecilnya prosen (%) penyisihan TPH ini disebabkan tidak adanya nutrisi yang masuk serta tidak adanya mikroorganisme yang ditambahkan pada reaktor blanko. Meskipun prosen (%) penyisihannya kecil, konsentrasi TPH tetap bisa turun.

4.1.2 Pengaruh Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 10%

Selain variabel mikroorganisme 8% berpengaruh terhadap turunya TPH, penambahan mikroorganisme 10% dan kompos 15%, 20%, 25%, dan 30% juga memiliki kemampuan untuk menurunkan konsentrasi TPH.

Tabel 5. Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 10 % dan Kompos 15 %, 20 %, 25 %, 30 %

Waktu (hari)	Reaktor				
	5	6	7	8	blanko
0	39.20	39.20	39.20	39.20	39.20
3	37.32	37.25	36.58	35.78	39.01
6	35.27	34.29	32.15	31.50	38.75
9	33.10	32.54	30.54	29.45	38.44
12	30.24	29.85	27.23	26.85	37.12
15	26.28	26.23	24.87	22.19	37.01
18	21.99	22.47	21.56	19.87	36.58
21	21.23	18.97	17.25	17.01	36.21
24	18.37	16.23	15.87	15.54	35.47
27	16.31	15.78	14.72	14.52	35.01
30	14.29	14.03	12.87	13.18	34.79

Sumber : hasil penelitian

Keterangan :

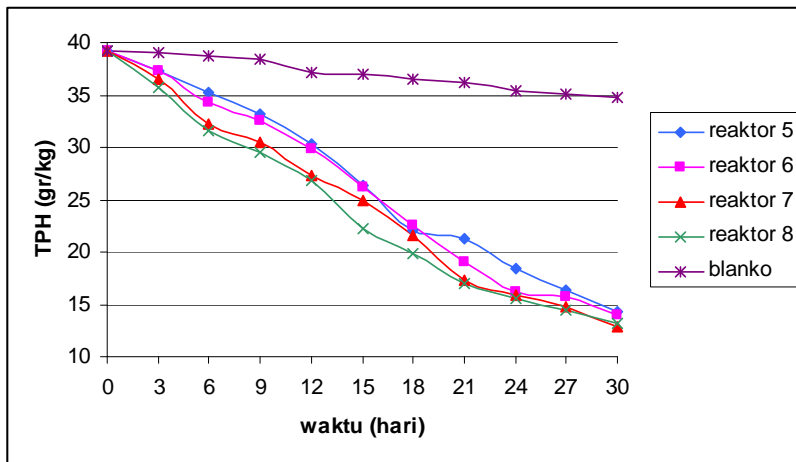
reaktor 5 = komposisi mikroorganisme 10 % dan kompos 15 %

reaktor 6 = komposisi mikroorganisme 10 % dan kompos 20 %

reaktor 7 = komposisi mikroorganisme 10 % dan kompos 25 %

reaktor 8 = komposisi mikroorganisme 10 % dan kompos 30 %

reaktor blanko = tanpa mikroorganisme & tanpa kompos.



Gambar 5. Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 10%

Konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada setiap reaktor yang ditambahkan mikroorganisme dan kompos mengalami penurunan dari nilai TPH awal. Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi kompos yang ditambahkan bersamaan dengan penambahan mikroorganisme 10%, menyebabkan penurunan konsentrasi TPH. Penurunan konsentrasi TPH yang paling besar terjadi pada reaktor 7 yang memiliki komposisi mikroorganisme 10% dan kompos 25%, dari nilai awal TPH 39.20 gr/kg turun menjadi 12.87 gr/kg. Hal ini disebabkan karena nutrisi (kompos) yang ditambahkan mendukung terjadinya proses degradasi TPH. Selain itu keberadaan kompos juga meningkatkan porositas tanah, porositas tanah yang baik akan memaksimalkan suplai udara yang masuk ke dalam reaktor dan dapat memudahkan pergerakan bakteri.

Fenomena diatas juga terjadi pada reaktor blanko, dimana mulai hari ke 3 sampai hari ke 30 terjadi penurunan TPH. Tetapi penurunan TPH terjadi sangat lamban, yaitu dari nilai awal 39.20 gr/kg menjadi 34.79 gr/kg. Lambannya penurunan yang terjadi disebabkan tidak adanya penambahan mikroorganisme dan kompos pada reaktor, hal ini menunjukkan bahwa terdapat mikroorganisme asli pada tanah sampel yang bekerja keras untuk dapat mendegradasi TPH. Tanpa adanya penambahan mikroorganisme dan kompos membuat kerja mikroorganisme asli menjadi terbatas.

Gambar 5 menunjukkan turunnya konsentrasi TPH mulai hari ke 3 sampai pada hari ke 18 yang signifikan. Namun pada hari ke 18 sampai hari ke 21 pada reaktor 5 hampir tidak terjadi penurunan konsentrasi TPH, hal ini disebabkan pada hari tersebut kelembaban reaktor 5 adalah 78% sampai 78.2%. Kondisi tersebut tidak sesuai dengan range kelembaban yang ditetapkan yaitu 50 – 75 %. Kelembaban yang melebihi range dapat menghambat metabolisme mikroorganisme dan menghambat proses degradasi TPH. Keadaan seperti ini juga terjadi pada reaktor 6 hari ke 21 sampai hari ke 24.

Ditinjau dari persen (%) penyisihan pada setiap reaktor memiliki persen penyisihan yang berbeda – beda, hal ini tergantung pada besar kompos yang ditambahkan. Perbedaan persen (%) penyisihan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 6. Prosen (%) Penyisihan Dengan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 10%

Reaktor	% Penyisihan
5	63.55
6	64.21
7	67.17
8	66.38
Blanko	11.25

Mulai reaktor 5 sampai reaktor 7 persen (%) penyisihan TPH semakin meningkat. Prosen penyisihan paling besar terjadi pada reaktor 7 yaitu 67.17%, reaktor 7 memiliki komposisi mikroorganisme 10% dan kompos 25%. Namun hal ini tidak terjadi pada reaktor 8 yang memiliki komposisi mikroorganisme 10% dan kompos 30%, persen (%) penyisihannya lebih kecil dibanding dengan reaktor 7 yaitu 66.38%.

Hal ini disebabkan penambahan kompos yang berlebih pada reaktor 8, yaitu 30%. Penambahan kompos memang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme dan mendukung proses degradasi TPH, Namun penambahan kompos yang berlebih pada reaktor juga kurang baik, kompos yang berlebih dapat mengakibatkan lolosnya udara yang masuk kedalam reaktor, sehingga kemampuan bakteri untuk mendegradasi TPH menjadi turun.

Prosen (%) penyisihan pada reaktor blanko hanya 11.250%, kecilnya prosen (%) penyisihan TPH ini disebabkan tidak adanya nutrisi yang masuk serta tidak adanya mikroorganisme yang

ditambahkan pada reaktor blanko. Meskipun prosen (%) penyisihannya kecil, konsentrasi TPH tetap bisa turun.

4.1.3 Pengaruh Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 12%

Selain penambahan mikroorganisme 8% dan 10% penurunan konsentrasi TPH juga terjadi pada penambahan mikroorganisme 12%. Penurunan konsentrasi TPH ditunjukkan pada tabel 7 dan gambar 6

Tabel 7. Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 12% dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %

Waktu (hari)	Reaktor				
	9	10	11	12	blanko
0	39.20	39.20	39.20	39.20	39.20
3	35.38	34.91	33.58	33.05	39.01
6	32.58	31.85	31.21	31.05	38.75
9	29.62	28.47	27.89	27.01	38.44
12	25.87	22.98	22.01	21.08	37.12
15	21.25	18.71	17.05	16.98	37.01
18	18.95	16.83	12.87	11.65	36.58
21	15.32	14.12	12.30	10.85	36.21
24	13.85	13.02	10.10	9.98	35.47
27	11.87	12.11	9.82	9.86	35.01
30	10.85	9.52	8.34	9.68	34.79

Sumber : Data primer

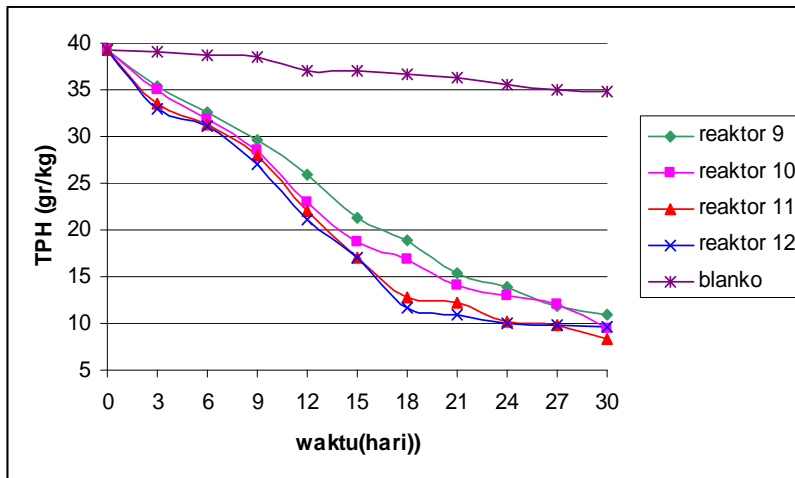
Keterangan :

reaktor 9 = komposisi mikroorganisme 12 % dan kompos 15 %

reaktor 10 = komposisi mikroorganisme 12 % dan kompos 20 %

reaktor 11 = komposisi mikroorganisme 12 % dan kompos 25 %

reaktor 12 = komposisi mikroorganisme 12 % dan kompos 30 %



Gambar 6. Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap penyisihan TPH Dengan Penambahan Mikroorganisme 12%

Konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada setiap reaktor yang ditambahkan mikroorganisme dan kompos mengalami penurunan dari nilai TPH awal. Pada tabel 7 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi kompos yang ditambahkan bersamaan dengan penambahan mikroorganisme 12%, menyebabkan penurunan konsentrasi TPH. Penurunan konsentrasi TPH yang paling besar terjadi pada reaktor 11 yang memiliki komposisi mikroorganisme 12% dan kompos 25%, dari nilai awal TPH 39.20 gr/kg turun menjadi 8.34 gr/kg. Hal ini disebabkan karena nutrisi (kompos) yang ditambahkan mendukung terjadinya proses degradasi TPH. Selain itu keberadaan kompos juga meningkatkan porositas tanah, porositas tanah yang baik akan memaksimalkan suplai udara yang masuk ke dalam reaktor dan dapat memudahkan pergerakan bakteri.

Penurunan konsentrasi TPH cukup signifikan berlangsung mulai hari ke 3 sampai pada hari ke 15, sedangkan hari ke 18 sampai hari ke 30 penurunan konsentrasi TPH berlangsung lambat namun tetap terjadi penurunan. Pada reaktor 12, pada hari ke 24 grafik hampir tidak ada penurunan konsentrasi TPH, hal ini disebabkan mikroorganisme pada reaktor 12 sudah mulai jenuh untuk mendegradasi TPH dan ada beberapa mikroorganisme yang mengalami fase kematian sehingga tidak mampu lagi mendegradasi TPH.

Fenomena diatas juga terjadi pada reaktor blanko, dimana mulai hari ke 3 sampai hari ke 30 terjadi penurunan TPH. Tetapi penurunan TPH terjadi sangat lambat, yaitu dari nilai awal 39.20 gr/kg menjadi 34.79 gr/kg. Lambannya penurunan yang terjadi disebabkan tidak adanya penambahan mikroorganisme dan kompos pada reaktor, hal ini menunjukkan bahwa terdapat mikroorganisme asli pada tanah sampel yang bekerja keras untuk dapat mendegradasi TPH. Tanpa adanya penambahan mikroorganisme dan kompos membuat kerja mikroorganisme asli menjadi terbatas.

Ditinjau dari prosen (%) penyisihan pada setiap reaktor memiliki persen penyisihan yang berbeda – beda, hal ini tergantung pada besar kompos yang ditambahkan. Perbedaan prosen (%) penyisihan dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 8. Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 12%

Reaktor	% Penyisihan
9	72.32
10	75.71
11	78.72
12	75.31
Blanko	11.25

Mulai reaktor 9 sampai reaktor 11 prosen (%) penyisihan TPH semakin meningkat. Persen penyisihan paling besar terjadi pada reaktor 11 yaitu 78.72%, reaktor 11 memiliki komposisi mikroorganisme 12% dan kompos 25%. Namun hal ini tidak terjadi pada reaktor 12 yang memiliki komposisi mikroorganisme 12% dan kompos 30%, prosen (%) penyisihannya lebih kecil dibanding dengan reaktor 11 yaitu 75.31%.

Hal ini disebabkan penambahan kompos yang berlebih pada reaktor 12, yaitu 30%. Penambahan kompos memang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme dan mendukung proses degradasi TPH, Namun penambahan kompos yang berlebih pada reaktor juga kurang baik, kompos yang berlebih dapat mengakibatkan lolosnya udara yang masuk kedalam reaktor, sehingga kemampuan bakteri untuk mendegradasi TPH menjadi turun.

Persen (%) penyisihan pada reaktor blanko hanya 11.250%, kecilnya persen (%) penyisihan TPH ini disebabkan tidak adanya nutrisi yang masuk serta tidak adanya mikroorganisme yang

ditambahkan pada reaktor blanko. Meskipun prosentase (%) penyisihannya kecil, konsentrasi TPH cenderung turun.

4.1.4 Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Konsentrasi TPH Pada Penambahan Mikroorganisme 14%

Penambahan mikroorganisme yang terakhir adalah 14%, pada penambahan ini juga terjadi penurunan konsentrasi TPH yang cukup signifikan. Penurunan konsentrasi TPH dapat dilihat pada tabel 9 dan gambar 7.

Tabel 9. Konsentrasi TPH (gr/kg) Dengan Penambahan Mikroorganisme 14% dan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 %

Waktu (hari)	Reaktor				
	13	14	15	16	blanko
0	39.20	39.20	39.20	39.20	39.20
3	35.02	34.79	33.54	31.45	39.01
6	32.17	31.47	30.45	28.91	38.75
9	28.21	26.84	26.21	24.56	38.44
12	25.39	24.78	23.73	20.35	37.12
15	21.72	21.04	20.91	18.55	37.01
18	17.68	16.87	15.12	13.54	36.58
21	14.25	13.96	12.47	11.09	36.21
24	11.35	10.52	9.45	8.54	35.47
27	9.24	8.96	7.04	8.01	35.01
30	8.21	6.57	6.24	7.89	34.79

Sumber : hasil penelitian

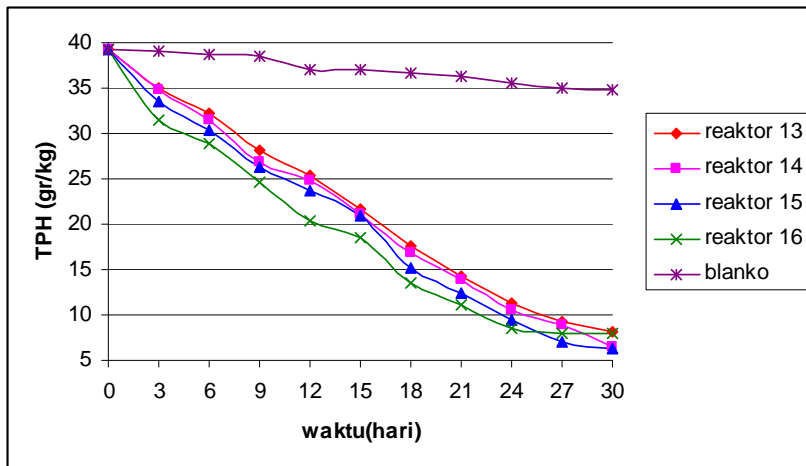
Keterangan :

reaktor 9 = komposisi mikroorganisme 14 % dan kompos 15 %

reaktor 10 = komposisi mikroorganisme 14 % dan kompos 20 %

reaktor 11 = komposisi mikroorganisme 14 % dan kompos 25 %

reaktor 12 = komposisi mikroorganisme 14 % dan kompos 30 %
 reaktor blanko = tanpa mikroorganisme & tanpa kompos.



Gambar 7. Pengaruh Penambahan Kompos Terhadap Penyisihan PH Dengan Penambahan Mikroorganisme 14%

Konsentrasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada setiap reaktor yang ditambahkan mikroorganisme dan kompos mengalami penurunan dari nilai TPH awal. Pada tabel 9 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi kompos yang ditambahkan bersamaan dengan penambahan mikroorganisme 14%, menyebabkan penurunan konsentrasi TPH. Penurunan konsentrasi TPH yang paling besar terjadi pada reaktor 15 yang memiliki komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 25%, dari nilai awal TPH 39.20 gr/kg turun menjadi 6.24 gr/kg. Hal ini disebabkan karena nutrisi (kompos) yang ditambahkan mendukung terjadinya proses degradasi TPH. Selain itu

keberadaan kompos juga meningkatkan porositas tanah, porositas tanah yang baik akan memaksimalkan suplai udara yang masuk ke dalam reaktor dan dapat memudahkan pergerakan bakteri.

Keadaan lain terjadi pada reaktor 16 yang memiliki komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 30%, mulai hari ke 24 sampai hari ke 30 konsentrasi TPH yang diturunkan sedikit. Bahkan pada gambar 6 kondisi tersebut digambarkan dengan garis lurus. Hal ini bisa disebabkan kemampuan mikroorganisme pendegradasi TPH mulai berkurang (jenuh).

Fenomena diatas juga terjadi pada reaktor blanko, dimana mulai hari ke 3 sampai hari ke 30 terjadi penurunan TPH. Tetapi penurunan TPH terjadi sangat lamban, yaitu dari nilai awal 39.20 gr/kg menjadi 34.79 gr/kg. Lambannya penurunan yang terjadi disebabkan tidak adanya penambahan mikroorganisme dan kompos pada reaktor, hal ini menunjukkan bahwa terdapat mikroorganisme asli pada tanah sampel yang bekerja keras untuk dapat mendegradasi TPH. Tanpa adanya penambahan mikroorganisme dan kompos membuat kerja mikroorganisme asli menjadi terbatas.

Ditinjau dari prosen (%) penyisihan pada setiap reaktor memiliki persen penyisihan yang berbeda – beda, hal ini tergantung pada besar kompos yang ditambahkan. Perbedaan prosen (%) penyisihan dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Prosen (%) Penyisihan Dengan Penambahan Kompos 15 %, 20 %, 25%, 30 % pada Penambahan Mikroorganisme 14%

Reaktor	% Penyisihan
13	79.06
14	83.24
15	84.08
16	79.87
Blanko	11.25

Mulai reaktor 13 sampai reaktor 15 persen (%) penyisihan TPH semakin meningkat. Persen (%) penyisihan paling besar terjadi pada reaktor 15 yaitu 84.08%, reaktor 15 memiliki komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 25%. Namun hal ini tidak terjadi pada reaktor 16 yang memiliki komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 30%, prosen (%) penyisihannya lebih kecil dibanding dengan reaktor 15 yaitu 79.87%.

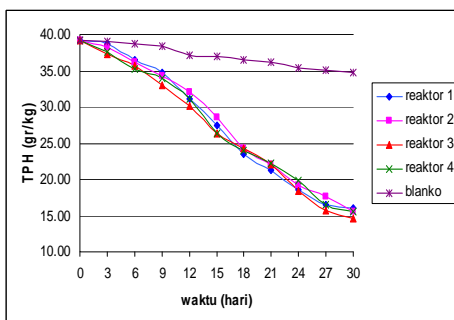
Hal ini disebabkan penambahan kompos yang berlebih pada reaktor 16, yaitu 30%. Penambahan kompos memang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme dan mendukung proses degradasi TPH, Namun penambahan kompos yang berlebih pada reaktor juga kurang baik, kompos yang berlebih dapat mengakibatkan lolosnya udara yang masuk kedalam reaktor, sehingga kemampuan bakteri untuk mendegradasi TPH menjadi turun.

Prosen (%) penyisihan pada reaktor blanko hanya 11.250%, kecilnya prosen (%) penyisihan TPH ini disebabkan tidak adanya nutrisi yang masuk serta tidak adanya mikroorganisme yang

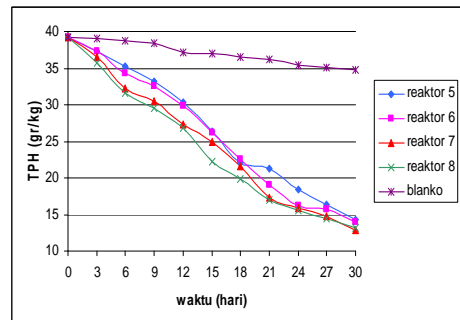
ditambahkan pada reaktor blanko. Meskipun prosen (%) penyisihannya kecil, konsentrasi TPH tetap bisa turun.

4.1.5 Evaluasi Pengaruh Penambahan Kompos Pada Proses Degradasi TPH

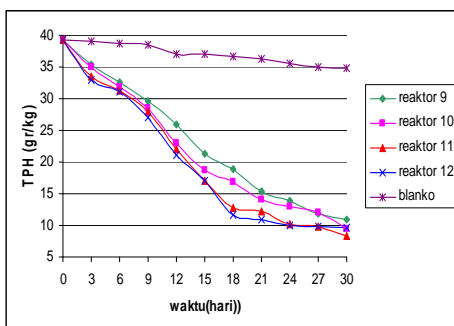
Ditinjau dari Tabel 3 sampai 10 serta gambar 4 sampai gambar 7 menunjukkan bahwa peranan kompos dapat menurunkan konsentrasi TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) dalam waktu proses 30 hari.



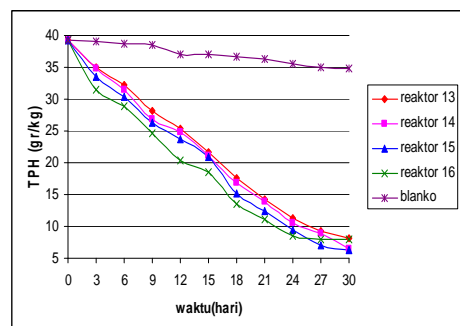
(a)



(b)



(c)



(d)

Pada gambar a, b, c dan d dapat dilihat tren grafik yang berbeda, meskipun memiliki tren yang berbeda namun secara keseluruhan gambar – gambar tersebut menggambarkan dengan berjalannya waktu dan penambahan kompos pada reaktor dapat menurunkan konsentrasi TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) dalam waktu yang sama. Penambahan kompos dimulai dari 15%, namun dengan penambahan ini penurunan konsentrasi TPH tidak terlalu jauh. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 3, konsentrasi TPH turun sekitar 0.1 – 0.2 gr/kg tiap harinya.

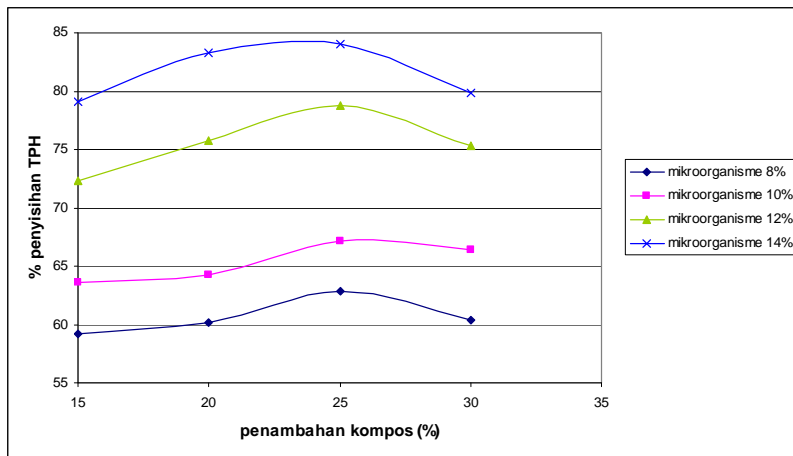
Penambahan kompos diteruskan menjadi 20%, 25% sampai 30%. Pada penambahan – penambahan ini, kerja mikroorganisme mulai meningkat. Pada tabel.3, tabel 5 dan tabel 7 menunjukkan bahwa konsentrasi TPH turun lebih banyak dibandingkan dengan penambahan kompos 15% yaitu 0.3 – 0.5 gr/kg tiap harinya.

Ditinjau dari prosen (%) penyisihan, penurunan konsentrasi TPH juga berhubungan dengan penambahan kompos yang dilakukan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 11, dan jika digambarkan dapat dilihat pada gambar 8.

Tabel 11. Penambahan Kompos (%) Terhadap Prosen (%)

Penyisihan TPH pada Penambahan Mikroorganisme

Mikroorganisme (%)	Kompos (%)			
	15	20	25	30
8	59.23	60.13	62.81	60.43
10	63.55	64.21	67.17	66.38
12	72.32	75.71	78.72	75.31
14	79.06	83.24	84.08	79.87



Gambar 8. Hubungan Penambahan Kompos (%) Terhadap Prosen (%) Penyisihan TPH pada Penambahan Mikroorganisme

Pada tabel 11 dan gambar 8 secara keseluruhan terlihat pada penambahan kompos 20%, prosen penyisihan TPH mulai meningkat. Pada penambahan kompos 25% prosen penyisihan TPH mengalami peningkatan puncak, sedangkan untuk penambahan kompos 30%, prosen penyisihan TPH justru mengalami penurunan. Dari gambar 4.5 diperoleh komposisi kompos terbaik untuk mendapatkan prosen (%) penyisihan terbesar. Komposisi kompos terbaik adalah 25%, jika diubah dalam ukuran gram maka sama dengan 105.6 gr atau 2 : 1.1 terhadap sample tanah 200 gr. Hal ini menunjukkan bahwa Penambahan kompos yang terlalu sedikit atau terlalu banyak dapat mempengaruhi prosen (%) penyisihan TPH. Jika terlalu sedikit penambahan kompos maka mikroorganisme tidak dapat tumbuh dengan baik sehingga tidak dapat menurunkan konsentrasi TPH

secara optimal. Namun jika terlalu banyak dapat menyebabkan berlebihan substrat, sehingga mikroorganisme jenuh untuk mengkonsumsi substrat yang dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan mendegradasi pencemar.

4.2 Parameter – Parameter Yang Dikontrol

Parameter – parameter lingkungan yang harus dikontrol pada saat melakukan proses bioremediasi dengan metode biopile, antara lain :

4.2.1 Suhu Reaktor

Salah satu parameter yang dikontrol adalah suhu tanah, bakteri dapat hidup dan berkembang biak dengan baik dalam suhu 25° - 35° C. pada suhu ini bakteri mampu mendegradasi minyak tanah secara optimal. Pada proses kali ini diperoleh rentang suhu antara 26° - 30° C.

Ditinjau dari evaluasi penambahan kompos (gambar a, b, c, dan d) serta penambahan mikroorganisme (gambar e, f, g, dan h), penyisihan konsentrasi TPH paling besar terjadi pada hari ke 9 sampai hari ke 18 dimana pada hari ke 9 sampai 18 range suhu masing – masing reaktor antara 28° - 30°C. Pada range suhu inilah mikroorganisme dapat menurunkan konsentrasi TPH secara optimal. Ada beberapa reaktor yang mengalami sedikit penurunan konsentrasi TPH pada hari ke 18, hal ini berkaitan dengan kejenuhan mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi TPH meskipun kondisi suhu tetap terjaga. Terjaganya kondisi suhu disebabkan

adanya suplai udara secara terus menerus serta dilakukan penyiraman secara berkala.

4.2.2 Nilai pH

pH tanah sangat berpengaruh terhadap proses bioremediasi, menurut Brodcorp, 1992 dalam Cookson, 1995, bakteri dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada range pH 6 – 9. Apabila kondisi pH tanah terlalu asam atau terlalu basa maka dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan pada akhirnya dapat juga menghambat proses bioremediasi, hal ini disebabkan bakteri tidak dapat secara optimal mendegradasi minyak tanah.

Ditinjau dari evaluasi penambahan kompos (gambar a, b, c, dan d) serta penambahan mikroorganisme (gambar e, f, g, dan h), penyisihan konsentrasi TPH paling besar terjadi pada hari ke 9 sampai hari ke 18 dimana pada hari ke 9 sampai 18 range pH masing – masing reaktor antara 6.61 – 6.94. Pada range pH inilah mikroorganisme dapat menurunkan konsentrasi TPH secara optimal. Ada beberapa reaktor yang mengalami sedikit penurunan konsentrasi TPH pada hari ke 18, hal ini berkaitan dengan kejenuhan mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi TPH meskipun kondisi pH tetap terjaga. Berbedanya pH pada masing – masing reaktor disebabkan adanya aktivitas bakteri dalam mendegradasi minyak tanah sebagai salah satu sumber makanannya.

4.2.3 Prosen (%) Kelembaban

Kelembaban tanah juga mempengaruhi berlangsungnya proses bioremediasi. Menurut US – EPA., 1985 dalam Eweis et al., 1998 menyebutkan bahwa kebanyakan bakteri aerobik mampu beroperasi secara optimal pada kelembaban 50 – 75 %. Ditinjau dari evaluasi penambahan kompos (gambar a, b, c, dan d) serta penambahan mikroorganisme (gambar e, f, g, dan h), penyisihan konsentrasi TPH paling besar terjadi pada hari ke 9 sampai hari ke 18 dimana pada hari ke 9 sampai 18 range kelembaban masing – masing reaktor antara 48.83% - 76.58%. Pada range kelembaban inilah mikroorganisme dapat menurunkan konsentrasi TPH secara optimal. Ada beberapa reaktor yang mengalami sedikit penurunan konsentrasi TPH pada hari ke 18, hal ini berkaitan dengan nilai kelembaban yang melebihi range serta kejenuhan mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi TPH. Kelembaban yang melebihi range dapat menghambat kemampuan bakteri untuk mendegradasi TPH. Tabel analisa kelembaban dapat dilihat pada lampiran B – 3.

4.2.4 Nutrisi

Nutrisi sangat diperlukan bakteri untuk dapat melakukan metabolisme dan berkembang biak. Pada proses kali ini, nutrisi yang ditambahkan juga terkandung di dalam bahan penggembur (*bulking agent*). Bahan penggembur yang digunakan adalah kompos organik, yaitu kompos yang berasal dari dedaunan serta ranting – ranting yang membusuk. Kompos tersebut mengandung nutrisi yang berupa urea dan mes cair. Penambahan kompos / nutrisi pada setiap reaktor

adalah berbeda – beda, sesuai dengan Sulistyowati, A. 2003 yang menyebutkan bahwa persen (%) penyisihan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) tertinggi terdapat pada reaktor yang mempunyai komposisi 500 gr kompos dalam 20 kg tanah. Komposisi kompos 63.36 gr (15%) untuk reaktor 1,5,9,dan 13. Komposisi kompos 84.48 gr (20%) untuk reaktor 2,6,10, dan 14. Komposisi kompos 105.6 gr (25%) untuk reaktor 3,7,11, dan 15. komposisi kompos 126.7 gr (30%) untuk reaktor 4,8,12, dan 16. Tabel komposisi kompos dan mikroorganisme dapat dilihat pada lampiran B.

4.3 Penentuan konstanta penyisihan konsentrasi hidrokarbon minyak bumi

Nilai konstanta penyisihan minyak bumi (k) diperoleh dari linierisasi kurva penurunan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) pada fase penurunan eksponensial, yaitu dengan cara memplotkan $\ln Co/Ct$ terhadap t. kemiringan kurva tersebut adalah nilai konstanta penyisihan TPH (k).

$$dCo/dt = k.C$$

$$dt = 1/k (\int dCo / C)$$

$$\ln (Co/C) = k t$$

Dengan :

dCo/dt = Perubahan konsentrasi substrat terhadap waktu

C = Konsentrasi Substrat (%)

Co = Konsentarsi awal substrat (%)

k = Konstanta Penyisishan (hari -1)

t = Waktu (hari)

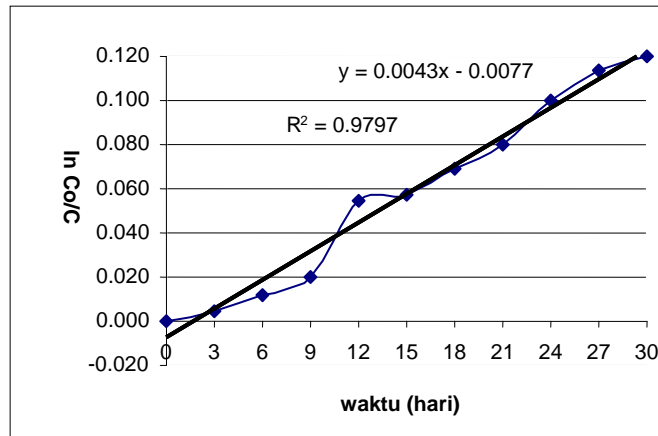
Hasil konstanta penyisihan konsentrasi TPH ditunjukkan dengan tabel 12 .serta gambar 9 sampai 14 di bawah ini.

Tabel 12. Laju Penyisihan Konsentrasi TPH pada Reaktor blanko, reaktor 1, reaktor 2, reaktor 3, reaktor 4 dan reaktor 5

A. Reaktor Blanko

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.000	0.000
3	3.920	39.01	3.901	1.005	0.005
6	3.920	38.75	3.875	1.012	0.012
9	3.920	38.44	3.844	1.020	0.020
12	3.920	37.12	3.712	1.056	0.054
15	3.920	37.01	3.701	1.059	0.057
18	3.920	36.58	3.658	1.072	0.070
21	3.920	36.21	3.621	1.083	0.080
24	3.920	35.47	3.547	1.105	0.100
27	3.920	35.01	3.501	1.120	0.113
30	3.920	34.79	3.479	1.127	0.120

Sumber : data primer

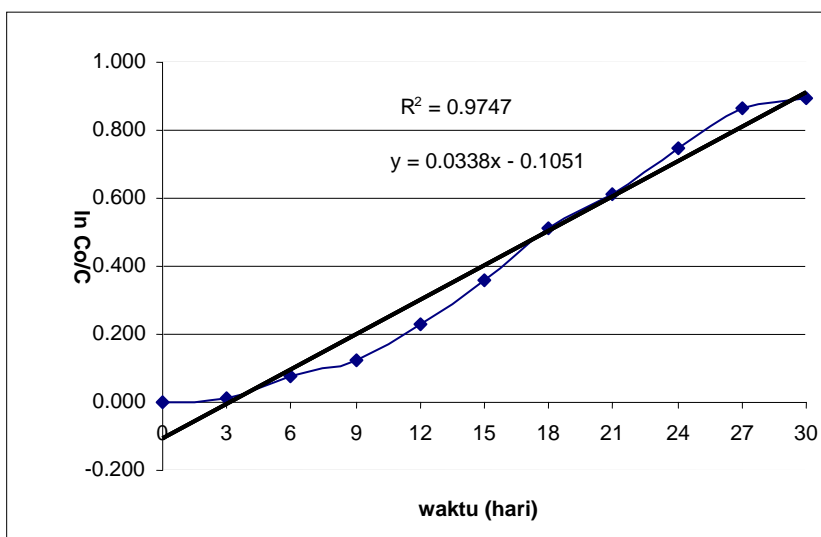


Gambar 9. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor Blanko

B. Reaktor 1 (Komposisi Kompos 15% dan Mikroorganisme 8%)

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.00	0.000
3	3.920	38.71	3.871	1.01	0.010
6	3.920	36.45	3.645	1.08	0.076
9	3.920	34.73	3.473	1.13	0.122
12	3.920	31.06	3.106	1.26	0.231
15	3.920	27.42	2.742	1.43	0.358
18	3.920	23.52	2.352	1.67	0.513
21	3.920	21.26	2.126	1.84	0.610
24	3.920	18.57	1.857	2.11	0.747
27	3.920	16.51	1.651	2.37	0.863
30	3.920	15.98	1.598	2.45	0.896

Sumber : data primer

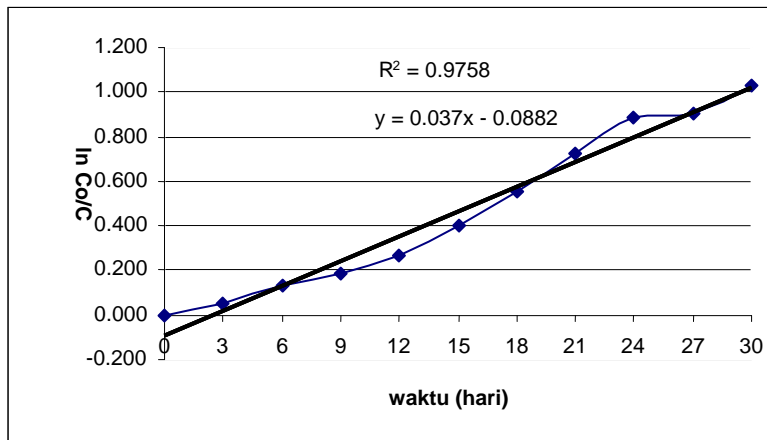


Gambar 10. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 1

C. Reaktor 2 (Komposisi Kompos 20% dan Mikroorganisme 10%)

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.00	0.000
3	3.920	37.25	3.725	1.05	0.049
6	3.920	34.29	3.429	1.14	0.131
9	3.920	32.54	3.254	1.20	0.182
12	3.920	29.85	2.985	1.31	0.270
15	3.920	26.23	2.623	1.49	0.399
18	3.920	22.74	2.274	1.74	0.554
21	3.920	18.97	1.897	2.07	0.728
24	3.920	16.23	1.623	2.42	0.884
27	3.920	15.78	1.578	2.48	0.908
30	3.920	14.09	1.409	2.79	1.026

Sumber : data primer

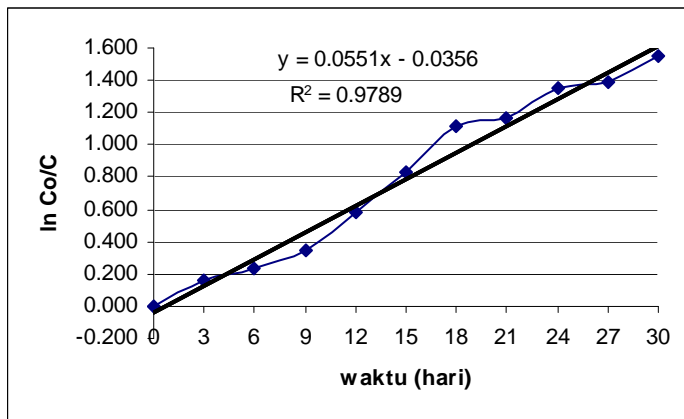


Gambar 11. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 2

D. Reaktor 3 (Komposisi Kompos 25% dan Mikroorganisme 12%)

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.00	0.000
3	3.920	33.58	3.358	1.17	0.157
6	3.920	31.21	3.121	1.26	0.231
9	3.920	27.89	2.789	1.41	0.344
12	3.920	22.01	2.201	1.78	0.577
15	3.920	17.05	1.705	2.30	0.833
18	3.920	12.87	1.287	3.05	1.115
21	3.920	12.30	1.230	3.19	1.160
24	3.920	10.10	1.010	3.88	1.356
27	3.920	9.82	0.982	3.99	1.384
30	3.920	8.34	0.834	4.70	1.548

Sumber : data primer

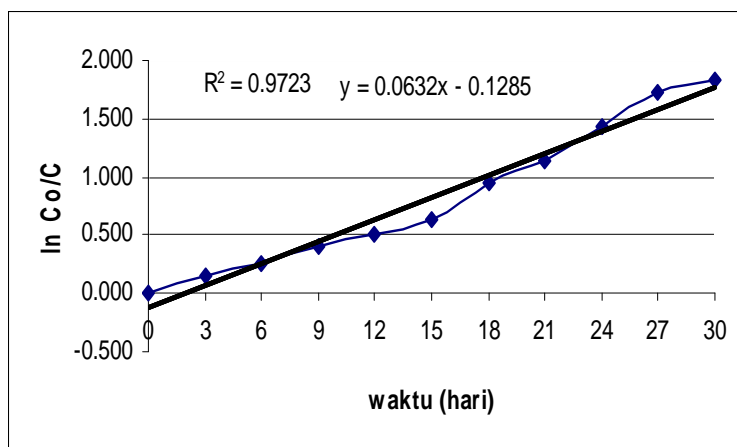


Gambar 12. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 3

E. Reaktor 4 (Komposisi Kompos 25% dan Mikroorganisme 14%)

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.00	0.000
3	3.920	33.54	3.354	1.17	0.157
6	3.920	30.45	3.045	1.29	0.255
9	3.920	26.21	2.621	1.50	0.405
12	3.920	23.73	2.373	1.65	0.501
15	3.920	20.91	2.091	1.87	0.626
18	3.920	15.12	1.512	2.59	0.952
21	3.920	12.47	1.247	3.14	1.144
24	3.920	9.45	0.945	4.15	1.423
27	3.920	7.04	0.704	5.57	1.717
30	3.920	6.24	0.624	6.28	1.837

Sumber : data primer

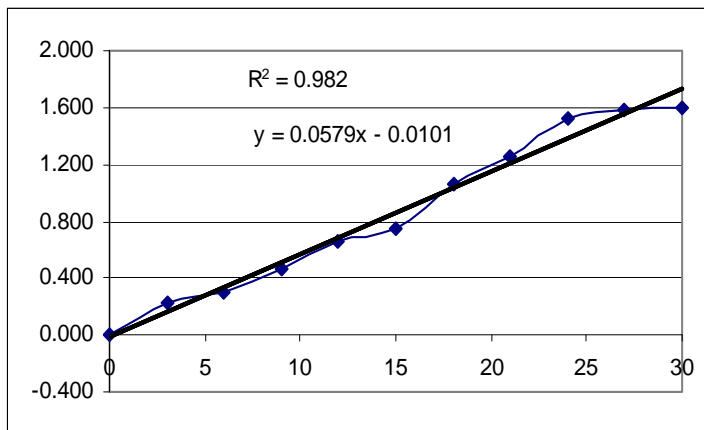


Gambar 13. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 4

F. Reaktor 5 (Komposisi Kompos 30% dan Mikroorganisme 14%)

Waktu (hari)	Co (%)	C (gr/kg)	C (%)	Co/C (%)	Ln Co/C
0	3.920	39.20	3.920	1.00	0.000
3	3.920	31.45	3.145	1.25	0.223
6	3.920	28.91	2.891	1.36	0.307
9	3.920	24.56	2.456	1.60	0.470
12	3.920	20.35	2.035	1.93	0.658
15	3.920	18.55	1.855	2.11	0.747
18	3.920	13.54	1.354	2.90	1.065
21	3.920	11.09	1.109	3.53	1.261
24	3.920	8.54	0.854	4.59	1.524
27	3.920	8.01	0.801	4.89	1.587
30	3.920	7.89	0.789	4.97	1.603

Sumber : data primer



Gambar 14. Laju Penyisihan TPH pada Reaktor 5

Konstanta penyisihan TPH (k) pada reaktor blanko, reaktor 1, reaktor 2, reaktor 3, reaktor 4, dan reaktor 5 dapat ditunjukkan pada tabel 13.

Tabel 13. Nilai Konstanta Penyisihan TPH

No	Reaktor	Komposisi		Konstanta Penyisihan (k) (hari ⁻¹)
		Mikroorganisme (%)	Kompos (%)	
1	Blanko	-	-	0.0043
2	1	8	15	0.0338
3	2	10	20	0.0370
4	3	12	25	0.0551
5	4	14	25	0.0632
6	5	14	30	0.0579

Sumber : data primer



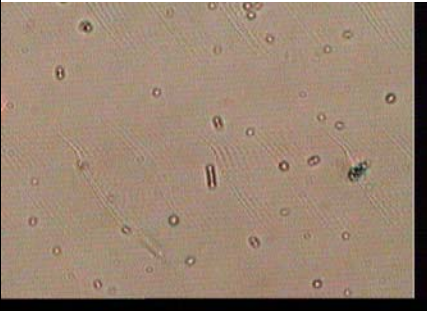



Pada reaktor blanko memiliki konstanta penyisihan konsentrasi TPH paling kecil, hal ini disebabkan tidak adanya penambahan mikroorganisme dan penambahan kompos. Pada reaktor ini mikroorganisme asli tanah mampu mendegradasi TPH secara alamiah, namun kemampuannya terbatas. Sedangkan untuk reaktor yang diberikan penambahan variasi kompos dan mikroorganisme menunjukkan adanya kecenderungan nilai konstanta penyisihan konsentrasi TPH (k) mengalami peningkatan.

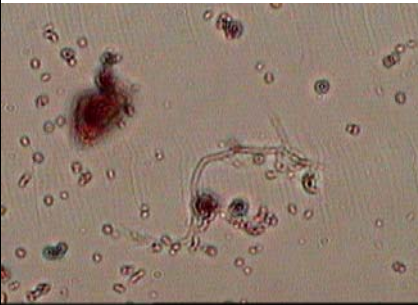


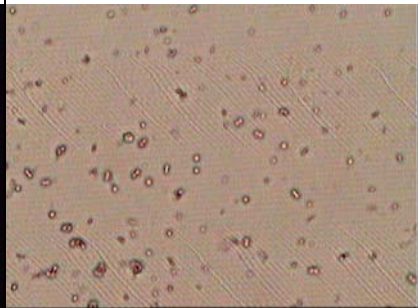
Peningkatan konstanta penyisihan TPH sejalan dengan penambahan mikroorganisme dan penambahan kompos, tetapi penambahan kompos yang berlebihan menyebabkan konstanta penyisihan konsentrasi TPH mengalami penurunan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 sampai gambar 14 serta tabel 13 konstanta laju penyisihan TPH terbesar pada komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 25% yaitu sebesar 0.0632 hari^{-1} . Tetapi penurunan konstanta penyisihan konsentrasi TPH terjadi pada komposisi mikroorganisme 14% dan kompos 30% yaitu sebesar 0.0579 hari^{-1} . Hal ini dikarenakan pada reaktor terdapat nutrisi yang berlebihan, sehingga mikroorganisme tidak dapat mendegradasi TPH secara optimal.

4.4 Mikroorganisme yang Teridentifikasi

Sebelum dilakukan proses utama (bioremediasi), terlebih dahulu dilakukan pengembangbiakan bakteri secara aerob. Setelah proses pengembangbiakan bakteri maka ada beberapa jenis mikroorganisme yang diidentifikasi, antara lain :

Table 14. Tabel Identifikasi Bakteri

No	Proses Aklimatisasi	Setelah Proses Bioremediasi
1	Spirillum	Spirillum
		
2	Basilus	Basilus
		
3	Protozoa	-
		

4	Kapang	-
		
5	Micrococcus	Micrococcus
		

Dari tabel 14 telah diketahui ada beberapa mikroorganisme yang mampu dan yang tak mampu bertahan selama proses bioremediasi. Ada 3 jenis mikroorganisme yang mampu bertahan sampai berakhirnya proses bioremediasi, antara lain :

1. Spirillum

Bakteri spirillum masih dapat dijumpai pada tanah sampai akhir proses, namun secara kuantitas bakteri ini tidak banyak perubahan seperti pada saat aklimatisasi. Bakteri ini masih dapat hidup karena selama proses bioremediasi dilakukan penyiraman secara berkala. Bakteri ini banyak ditemukan di lingkungan aquatic dan hidup secara aerob. bakteri ini berkembang biak dengan baik pada suhu optimum

30°C dan pH 5.5 - 8.5. Sesuai dengan kondisi reactor yang pada umumnya memiliki suhu 26° - 30°C serta range pH 6.61 – 6.94. Bakteri ini termasuk genus I dalam family *Spirillaceae*.

2. Basilus

Bakteri basilus juga ditemukan sampai akhir proses bioremediasi, bakteri ini banyak ditemukan pada lingkungan tanah, hidup secara aerob, dapat tumbuh secara optimal pada suhu 20° - 37°C dan pada pH 5.5 – 8.5. Kondisi ini sesuai dengan kondisi reactor yang pada umumnya memiliki suhu 26° - 30°C serta range pH 6.61 – 6.94. Bakteri ini termasuk genus I dalam family *Bacillaceae*.

3. Mikrococcus

Selain bakteri spirillum dan basilus, bakteri micrococcus juga ditemukan pada akhir proses. Seperti yang ditunjukkan pada table 4...secara kuantitas, bakteri ini lebih banyak di banding pada saat aklimatisasi. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri micrococcus merupakan bakteri yang mampu mendegradasi TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) selama proses berlangsung. Bakteri ini banyak ditemukan ditanah serta hidup secara aerob. Bakteri ini dapat tumbuh optimum pada suhu 25° - 35°C dan pada pH 5.5 – 8.5. Kondisi ini sesuai dengan kondisi reactor yang memiliki suhu 26° - 30°C serta range pH 6.61 – 6.94. bakteri ini merupakan genus I dalam family II *Micrococcaceae*.

4.5 Uji Korelasi – Determinasi Pengaruh Kelembaban, pH, dan Suhu Terhadap Penurunan Konsentrasi TPH

Uji korelasi dan determinasi dilakukan untuk mengetahui manakah diantara pH, kelembaban, dan suhu yang merupakan factor lingkungan yang paling mendukung selain suplai udara dan nutrisi bagi proses degradasi TPH. Dari uji statistik korelasi dan determinasi didapatkan % determinasi (R^2) seperti yang ditunjukkan pada tabel 15.

Tabel 15. Prosen (%) Determinasi (R^2) pH, Suhu, dan Kelembaban Terhadap Penurunan Konsentrasi TPH

Faktor lingkungan	R^2	Signifikan
Kelembaban	0.590	0.000
pH	0.442	0.000
Suhu	0.182	0.000

Pada penelitian kali ini memiliki hipotesa jika nilai signifikan $< 5\%$ maka H_0 ditolak dan apabila nilai signifikan $> 5\%$ maka H_0 diterima. Dari table 15 dapat dilihat bahwa ketiga faktor memiliki nilai signifikan 0.000 atau $< 5\%$, maka hipotesis yang menyatakan bahwa penurunan TPH pada reactor mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kelembaban, pH, dan suhu terbukti kebenarannya dan hipotesis diterima. Analisa korelasi – determinasi diperoleh nilai R Square.

4.6 Evaluasi Penambahan Kompos, Mikroorganisme serta kondisi lingkungan

Pada proses bioremediasi kali ini dapat dilakukan evaluasi total mengenai penambahan kompos, penambahan mikroorganisme serta kondisi lingkungan yang mendukung terjadinya proses bioremediasi.

Hal yang pertama yang dievaluasi adalah penambahan kompos, adanya penambahan kompos dapat mendukung mikroorganisme untuk menurunkan konsentrasi TPH selama 30 hari. Komposisi kompos terbesar yang dapat menurunkan konsentrasi TPH adalah 30%, dimana konsentrasi awal 39.20 gr/kg turun menjadi 78.90 gr/kg. Tetapi jika ditinjau dari prosen (%) penyisihannya, penambahan kompos yang berlebih dapat menurunkan prosen (%) penyisihan. Untuk mendapatkan prosen (%) penyisihan terbesar pada proses bioremediasi kali ini, komposisi komposnya adalah 25% dengan prosen (%) penyisihan sebesar 84.08%.

Selanjutnya dilihat dari evaluasi pengaruh penambahan mikroorganisme pada proses degradasi TPH.. Penambahan komposisi mikroorganisme terbaik adalah 14%. Hal ini sejalan dengan Prosen (%) penyisihannya, dimana semakin banyak mikroorganisme yang ditambahkan maka semakin besar prosen (%) penyisihan yang diperoleh yaitu 84.08%

Kondisi lingkungan merupakan hal penting yang harus tetap dijaga kondisinya. Pada proses kali ini kondisi yang perlu tetap terjaga adalah suhu, pH, kelembaban dan nutrisi. Penurunan

konsentrasi TPH paling banyak terjadi mulai hari ke 6 sampai hari ke 21, pada saat itu kondisi suhu berkisar antara 27° - 30°C, kelembaban antara 55 – 76% serta pH berkisar 6.5 – 6.9. Jika ditinjau dari segi analisa korelasi dan determinasi, faktor yang harus dijaga kestabilannya adalah kelembaban, lalu pH baru kemudian suhu. Kondisi ini mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik sehingga dapat menurunkan konsentrasi TPH secara optimal.

5 . PENTUTUP

Pada proses penambahan mikroorganisme terbaik adalah 14% serta penambahan kompos 25%, hal ini terletak pada reaktor 15 yang memiliki prosen (%) penyisihan sebesar 84.082%. Tetapi dengan penambahan kompos 30% penyisihan TPH mengalami penurunan. Dengan adanya penambahan mikroorganisme dan penambahan kompos juga dapat mempersingkat waktu proses, contohnya pada reaktor 12 (hari ke 18) perurunan konsentrasi TPH mulai berkurang (konstan).

Degradasi TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) pada proses bioremediasi kali ini dapat terjadi pada suhu 28° - 30°C, pH 6.61 – 6.94 serta kelembaban 48.83% - 76.58%. Dari uji korelasi – determinasi didapatkan nilai R square tertinggi terdapat pada faktor kelembaban yaitu 0.590, hal ini menunjukkan bahwa kelembaban mempunyai pengaruh yang cukup besar bagi proses degradasi TPH.

Penambahan mikroorganisme dapat mempengaruhi laju penyisihan TPH, laju penyisihan terbaik terletak pada reaktor 15 dengan penambahan kompos 25% dan mikroorganisme 14% memiliki laju penyisihan sebesar 0.0632 hari⁻¹. Tetapi pada variasi penambahan kompos 30% dan mikroorganisme 14%, laju penyisihan TPH mengalami penurunan yaitu 0.0579 hari⁻¹.

Mikroorganisme yang dapat diidentifikasi pada proses aklimatisasi adalah *Spirillum*, *Ba* 107 *ig*, *Protozoa*, dan *Mikrococcus*. Mikroorganisme yang mampu bertahan sampai akhir

proses bioremediasi selama 30 hari adalah family *Micrococcaceae* (Bentuk *Mikrococcus*), family *Spirillaceae* (Bentuk *Spirillum*), dan family *Bacillaceae* (Bentuk *Basillus*).

Selanjutnya penambahan mikroorganisme sebaiknya tidak dibawah 8 %, tetapi dimulai dari 14% sampai nilai diatas 14%. . Aklimatisasi mikroorganisme dilakukan lebih lama agar didapatkan jenis mikroorganisme khusus yang dapat mendegradasi TPH dalam sample. Dilakukan pembatasan terhadap variabel kompos antara 20% sampai 25%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisoemarto, S., 1994. "Dasar – dasar Ilmu Tanah" Penerbit Erlangga, Ciracas, Jakarta.
- Anonim^a ., 2007 . Minyak tanah. "[http: // www. Wikipedia.org](http://www.Wikipedia.org) // "
- Baker, K .H. and D . S. Herson (1994). "*Bioremediation*". Mc Graw – Hill. Inc.
- Benefield, L. D. and Randall, C. W. "*Biological Proses Design For Wastewater Treatment*" Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., USA.
- Eweis, J.B. et all ., 1998." *Bioremediation Principles*". Mc Graw - Hill series in Water Resource and Environmental Engineering , New York.
- Cookson, J.T. 1995. "*Bioremediation Engineering Design and Application*". Mc Graw – Hill , New York.
- Cowan, S. T. Ett all. "*Bergey's Manual Of Determinative Bakteriologi 8th edition*" The Williams & Wilkins Company / Baltimore. USA.
- Masyruroh , Y ., 2004. "Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon.". Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – UPN " Veteran " Jatim , Surabaya.
- MC. Millen , Sara . J. 1998. "*Bioremediation Potensial of Crude Oil Spill On Soil*". Bettel Evess, Columbus, Ohio.
- Pelczar, M. J. JR ., Chan, E. C. S. and Reid, R.D. ,1988. "*Microbiology*" Mc Graw – Hill Publishing Co. LTD.

- Perry, J. H., 1999. "*Chemical Engineering HandBook 7th edition*" Mc Graw Hill Book Co., Inc ., New York.
- Rini, S . P., 2007. "Pengaruh Pencampuran Lindi Dan Aktivator Green Phoskko Terhadap Proses Pematangan Kompos". Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – UPN “Veteran” Jatim , Surabaya.
- Subekti, F. W., 2005. "Lindi Sebagai Biostater Dalam Proses Pengomposan Sampah Kota". Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – UPN “Veteran” Jatim , Surabaya.
- Sulistyowati, A. 2003. “ Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon di PT. Newmont Nusa Tenggara”. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS , Surabaya.
- Sutedjo, M. , dkk. , 1992, "*Mikrobiologi Tanah*",PT. Melton Putra, Jakarta.
- Yulaikah, L. 2007. "Bioremediasi Lahan Tercemar Hidrokarbon Minyak Bumi Secara Biopile". Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – UPN “Veteran” Jatim , Surabaya.